

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Soluções Integradas para Edifícios Inteligentes

Sónia Darmendra Guiga

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Laura Elena Aelenei (LNEG)
Guilherme Carrilho da Graça (FCUL)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho e a todos os que permitiram a concretização desta dissertação.

Agradeço à Doutora Laura Elena Aelenei por ter proporcionado este tema para estudar, por me ter direcionado ao longo desta experiência e, ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. por permitir o acesso ao edifício Solar XXI onde tive a oportunidade de trabalhar.

Agradeço igualmente ao Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça por ter sugerido este estágio e pela sua orientação, não só neste trabalho como também na minha jornada académica. Gostaria de agradecer também ao Rafael Monge Palma por todo o auxílio que me forneceu e que foi claramente inestimável.

Gostaria de agradecer a todos os docentes, que tive na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pela sua contribuição na minha formação académica e a todos os não docentes que facultaram um apoio imprescindível. Agradeço aos meus colegas e amigos que tornaram esta jornada muito mais entretida.

Por fim, gostaria de expressar profunda gratidão à minha família, principalmente os meus pais, pelo seu apoio incondicional. Muito obrigado!

Resumo

A arte de construir remonta para tempos muito longínquos, contudo os edifícios passaram a ter um consumo de energia progressivamente maior devido aos variados usos finais existentes. As Alterações Climáticas são um fator impactante no consumo dos edifícios já que o efeito de estufa provoca uma concentração de energia no ambiente que se manifesta pela volatilidade atmosférica e verões muito quentes. Os edifícios passam a ter uma maior necessidade de climatização visto que a ventilação natural é impossibilitada.

Estes e outros diversos problemas promovem a necessidade de construir edifícios cada vez mais sustentáveis e adaptáveis temporalmente e espacialmente. Uma possibilidade é os edifícios NZEB que se caracterizam pela sua sustentabilidade, elevada eficiência energética e baixo consumo de energia através da adoção de diferentes estratégias como integração de métodos passivos e incorporação de renováveis. A monitorização pode promover a diminuição do consumo energético e este trabalho visa averiguar esse facto monitorizando o Solar XXI, o único edifício de serviços NZEB em Portugal. Uma outra solução pode passar pelos edifícios inteligentes e, isso será estudado recorrendo às salas de teste do Solar XXI cujos sistemas técnicos foram automatizados.

O consumo energético foi estimado em $83,6 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$ e a produção energética foi avaliada em $64,4 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$. A fração renovável local ronda os 77% pelo que, de modo geral, o Solar XXI consegue obter a classe energética A. É esperado que o desempenho energético do edifício aumente com a implementação da automatização e do sistema de monitorização mais detalhado, todavia não foi possível apurar os impactos gerados até o momento. Apesar do Solar XXI não ter um balanço energético nulo e ainda existir um grande potencial de aperfeiçoamento, trata-se um edifício sustentável com necessidades energéticas abrangidas de modo substancial pelas renováveis, por isso é um bom exemplo a seguir na construção de edifícios.

Palavras-Chave: NZEB. Monitorização. Edifícios inteligentes. Indicador inteligente. Desempenho energético.

Abstract

The art of construction goes back to very distant times, however the buildings started to have an energy consumption progressively higher due to the various end uses that exist. Climate Change is an impacting factor in the consumption of buildings as the greenhouse effect causes a concentration of energy in the environment that is manifested by atmospheric volatility and very hot summers. Buildings now have a greater need for air conditioning as natural ventilation is impossible.

These and other various problems promote the need to construct buildings that are increasingly sustainable and adaptable both temporally and spatially. One possibility is the NZEB buildings that are characterized by their sustainability, high energy efficiency and low energy consumption through the adoption of different strategies such as the integration of passive methods and the incorporation of renewables. Monitoring can promote the reduction of energy consumption and this work aims to verify that fact by monitoring Solar XXI, the only NZEB service building in Portugal. Another solution could be intelligent buildings, and this will be studied using the Solar XXI test rooms, whose technical systems have been automated.

The energy consumption was estimated at 83,6 kWh_{EP}/m².year and the energy production was assessed at 23 kWh_{EP}/m².year. The local renewable fraction is around 77% so whereby, in general, Solar XXI manages to obtain energy class A. It's expected that the energy performance of the building will increase with the implementation of automation and a more detailed monitoring system, however it hasn't been possible to verify the caused impacts so far. Although Solar XXI doesn't have a zero energy balance and there's still a large potential for improvement, it's a sustainable building with energy needs that are substantially covered by renewables, so it's a good example to follow in building's construction.

Keywords: NZEB. Monitoring. Smart buildings. Smart Readiness Indicator. Energy performance.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas.....	vi
Siglas e Acrónimos.....	ix
Simbologia e Notações.....	x
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento geral.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. Estado de arte	3
2.1. Edifícios NZEB	3
2.2. Processos standard M&V para os edifícios NZEB.....	6
2.3. Edifícios inteligentes	7
3. Caso de estudo.....	9
3.1. Edifício	9
3.1.1. Descrição da envolvente.....	9
3.1.2. Sistema de aquecimento passivo	10
3.1.3. Sistema de arrefecimento passivo	11
3.1.4. Ventilação e iluminação natural	12
3.1.5. Produção renovável	12
3.2. Salas de teste	14
4. Monitorização.....	15
4.1. Edifício Solar XXI.....	16
4.2. Salas de Teste	20
4.3. Equipamentos instalados	23
4.4. <i>Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados</i>	25
5. Automatização.....	26
5.1. Edifício	27
5.1.1. Aberturas motorizadas.....	27
5.1.2. Central Térmica.....	29
5.1.3. Iluminação artificial	33

5.2. Salas de teste	35
5.2.1. BIPV	35
5.2.2. Tubos enterrados	37
5.2.3. Radiadores.....	39
5.2.4. Envolvente.....	40
5.2.5. Iluminação artificial	41
5.2.6. Estores externos.....	42
5.2.7. Registo das portas.....	43
5.3. Equipamentos instalados	46
5.4. Sistema de gestão técnica do edifício.....	48
6. <i>Net ZEB Evaluation Tool</i>	49
6.1. Definições de <i>Net ZEB</i>	50
6.1.1. <i>Net ZEB Limited</i>	50
6.1.2. <i>Net ZEB Primary</i>	50
6.1.3. <i>Net ZEB Strategic</i>	50
6.1.4. <i>Net ZEB Carbon</i>	50
6.2. Folha de cálculo.....	51
7. <i>Smart Readness Indicator</i>	54
7.1. Metodologia	54
7.2. Folha de cálculo com método B	56
8. Avaliação de conforto e QAI.....	63
9. Resultados	65
9.1. Monitorização.....	65
9.2. <i>Net ZEB Evaluation Tool</i>	69
9.3. SRI.....	70
9.4. Conforto térmico e QAI	71
9.5. Questionários de avaliação da ocupação	73
9.6. Evolução do consumo/produção de eletricidade do Solar XXI.....	77
10. Conclusões	78
10.1. Conclusões gerais.....	78
10.2. Futuros desenvolvimentos.....	79
11. Referências Bibliográficas	80
Anexo A – Questionário de avaliação da ocupação	83
Anexo B – Resultados complementares	86
Anexo C – Avaliação do SRI no Solar XXI.....	91

Índice de Figuras

Figura 1: A – ZEB ou off-grid ZEB; B – NZEB ou on-grid ZEB. Fonte: [3].....	3
Figura 2: A - Site ZEB; B – Source ZEB; C – Emission ZEB; D – Cost ZEB. Fonte: [3]	4
Figura 3: Representação do conceito de balanço de NZEB. Fonte: [5].....	5
Figura 4: Representação da classificação geral do desempenho de acordo com a fração renovável local. Fonte: [6]	5
Figura 5: Critérios e domínios de impacto do SRI. Fonte: [10]	8
Figura 6: Representação do conceito Smart Readiness Indicator num edifício. Fonte: [10]	8
Figura 7: Interligação entre edifícios NZEB, a monitorização e o Smart Readiness Indicator.....	8
Figura 8: Planta do piso térreo. Fonte: [11].....	9
Figura 9: A – Fachada Oeste-Sul; B – Fachada Sul; C – Fachada Este; D – Fachada Este-Norte. Fonte: [11]	10
Figura 10: Esquema do funcionamento do sistema de recuperação do calor pelos painéis fotovoltaicos. Fonte: [11]	10
Figura 11: Orifícios de ventilação no interior das salas orientada a Sul. Fonte: [11].....	11
Figura 12: Sistema de arrefecimento passivo do ar através de tubos enterrados. Fonte: [11]	11
Figura 13: Saídas de ventilação no interior das salas. Fonte: [11].....	11
Figura 14: A – Módulos fotovoltaicos da fachada Sul; B - Coletores solares na cobertura; C – Módulos fotovoltaicos do parque de estacionamento. Fonte: [12].....	13
Figura 15: Percurso realizado pelo Solar XXI para atingir o desempenho NZEB. Fonte: [13]	13
Figura 16: Sala de teste 2 com os principais sensores e sistemas técnicos. 1 – Sistema de sombreamento e iluminação artificial; 2 – Sistema de renovação de ar pelo registo da porta; 3 – Sistema de BIPV; 4 - Sistema de aquecimento; 5 - Sistema de arrefecimento passivo (tubos enterrados); A – Sensor de presença; B – Sensor de temperatura e humidade; C - Sensor de dióxido de carbono. Fonte: [14].....	14
Figura 17: Diagrama de métricas de desempenho energético relacionado com o Solar XXI	16
Figura 18: Diagrama de monitorização para o edifício de serviços Solar XXI.....	17
Figura 19: Esquema dos equipamentos de monitorização instalados no edifício	19
Figura 20: Diagrama de monitorização para a sala de teste	21
Figura 21: Esquema dos equipamentos de monitorização instalados nas salas de teste	22
Figura 22: Interface do Power Monitoring Expert com dados referentes ao Solar XXI	25
Figura 23: Algoritmo de controlo das aberturas motorizadas	28
Figura 24: Algoritmo de controlo do Circuito Primário.....	31
Figura 25: Algoritmo de controlo da Configuração “Solar com apoio” do modo Verão.....	32
Figura 26: Algoritmo de controlo da Iluminação Artificial do edifício	34
Figura 27: Esquema da monitorização e automatização do edifício	35
Figura 28: Modos de operação dos registos do BIPV	35
Figura 29: Algoritmo de controlo do BIPV.....	37
Figura 30: Algoritmo de controlo dos Tubos Enterrados	38
Figura 31: Algoritmo de controlo da Iluminação Artificial das salas de teste	42
Figura 32: Algoritmo de controlo dos Estores Externos	43
Figura 33: Algoritmo de controlo do Registo da porta.....	44
Figura 34: Esquema da monitorização e automatização das salas de teste	45
Figura 35: Interface do Sistema de Gestão do Solar XXI	48
Figura 36: Interface do sistema de controlo da sala de teste 2	48

Figura 37: Esquema das ligações entre o edifício e a rede elétrica, representando as terminologias mais relevantes.....	49
Figura 38: Fatores de ponderação de cada funcionalidade e critério de impacto	55
Figura 39: Temperatura operativa aceitável pelo modelo de Fanger. Fonte: [29]	63
Figura 40: Temperatura operativa aceitável pelo EN15251. Fonte: [29]	64
Figura 41: Consumo e produção elétricos no Solar XXI em 2019.....	65
Figura 42: Consumo elétrico mensal por piso do Solar XXI	66
Figura 43: Produção solar térmica mensal do Solar XXI.....	67
Figura 44: Consumo mensal de gás natural e água do Solar XXI.....	67
Figura 45: Temperaturas da água do radiador, interior nas salas de teste e exterior	68
Figura 46: Temperaturas do BIPV, interior na TR2 e exterior.....	68
Figura 47: Balanço de importação/exportação monitorizado do edifício.....	69
Figura 48: Correspondência de carga térmica	69
Figura 49: Correspondência de carga elétrica	69
Figura 50: Classificação dos domínios de impacto do edifício	70
Figura 51: Classificação dos critérios de impacto do edifício.....	70
Figura 52: Classificação dos domínios de impacto das TR.....	70
Figura 53: Classificação dos critérios de impacto das TR	70
Figura 54: Percentagem de conforto e desconforto térmico anual nas salas de teste pelo modelo de Fanger.....	71
Figura 55: Percentagem de concentração de CO ₂ relativamente ao Limiar de Proteção	71
Figura 56: Temperatura e concentração de CO ₂ no corredor 0 e 1 do edifício	72
Figura 57: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade em geral do ambiente interior do edifício	73
Figura 58: Opinião dos ocupantes sobre a versatilidade do edifício	73
Figura 59: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade do edifício em geral	74
Figura 60: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade em geral das áreas do edifício.....	74
Figura 61: Conforto térmico no inverno.....	75
Figura 62: Conforto térmico no verão	75
Figura 63: Frequência com que os ocupantes usam os controlos do ambiente interior	75
Figura 64: Qualidade do ar interior no inverno	76
Figura 65: Qualidade do ar interior no verão	76
Figura 66: Produção e consumo elétrico anual do Solar XXI	77
Figura B. 1: Produção e consumo elétrico do Solar XXI ao longo de uma semana.....	87
Figura B. 2: Produção e consumo elétrico do Solar XXI ao longo de um dia.....	87
Figura B. 3: Produção e consumo elétrico mensal de 2006 e 2019 do Solar XXI	88
Figura B. 4: Temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores das salas de teste.....	89
Figura B. 5: Consumo elétrico das salas de teste	89
Figura B. 6: Concentração de CO ₂ no interior das salas de teste	90

Índice de Tabelas

Tabela 1: Dados dos sistemas de energia renovável. Fonte: [13].....	12
Tabela 2: Parâmetros do edifício monitorizados	19
Tabela 3: Parâmetros das salas de teste monitorizados	22
Tabela 4: Equipamentos de monitorização instalados no edifício e salas de teste	23
Tabela 5: Variáveis de controlo das aberturas motorizadas	27
Tabela 6: Variáveis de controlo do Circuito Primário.....	29

Tabela 7: Variáveis de controlo da Iluminação Artificial	34
Tabela 8: Variáveis de controlo do BIPV.....	36
Tabela 9: Variáveis de controlo dos Tubos Enterrados	38
Tabela 10: Intervalos de controlo dos registos e ventiladores dos tubos enterrados (TUBE.REG.VENT)	39
Tabela 11: Variáveis de controlo dos Radiadores	39
Tabela 12: Variáveis de controlo da Envolvente.....	40
Tabela 13: Variáveis de controlo da Envolvente.....	41
Tabela 14: Variáveis de controlo dos Estores Externos	42
Tabela 15: Variáveis de controlo do Registo da porta.....	44
Tabela 16: Equipamentos de automatização instalados no edifício e salas de teste.....	46
Tabela 17: Dados sobre o edifício	51
Tabela 18: Dados monitorizados sobre a interação edifício - rede.....	51
Tabela 19: Fatores de ponderação estáticos	52
Tabela 20: Custos de operação.....	53
Tabela 21: Informações gerais do edifício e das salas de teste	56
Tabela 22: Processo de triagem do edifício e das salas de teste	56
Tabela 23: Detalhes sobre os sistemas técnicos do edifício e das salas de teste	57
Tabela 24: Avaliação dos serviços providenciados pelos sistemas técnicos do edifício e das salas de teste	58
Tabela 25: Fatores de ponderação padrão dos critérios de impacto	61
Tabela 26: Fatores de ponderação padrão dos domínios	62
Tabela C. 1: Níveis de funcionalidade de cada serviço existente no edifício Solar XXI	92

Siglas e Acrónimos

AQS	Águas Quentes Sanitárias
CHP	<i>Combined Heat and Power</i>
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DE	<i>Dynamic Envelope</i>
DER	<i>Distributed Energy Resources</i>
DHW	<i>Domestic Hot Water</i>
DSM	<i>Demand Side Management</i>
BACS	<i>Building Automation and Control System</i>
BIPV	<i>Building-Integrated Photovoltaic</i>
BIPVT	<i>Building-Integrated Photovoltaic - Thermal</i>
EP	Energia Primária
EPBD	<i>Energy Performance of Building Directive</i>
EPC	<i>Energy Performance Certificate</i>
ER	Energia Renovável
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
FEDER	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
FER	Fontes de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HEPB	<i>High Energy Performance Buildings</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IAQ	<i>Indoor Air Quality</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
MCTES	Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior
M&C	<i>Monitoring and Control</i>
M&V	Monitorização e Verificação
nZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
NZE	<i>Net Zero Energy</i>
NZEB	<i>Net Zero Energy Building</i>
OA	<i>Outdoor Air</i>
PCS	Poder Calorífico Superior
PE	<i>Primary Energy</i>
PIDDAC	Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da
Administração Central	
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PM	<i>Particulate Matter</i>

PME	<i>Power Monitoring Expert</i>
QAI	Qualidade do Ambiente Interno
RES	<i>Renewable Energy Source</i>
SACE	Sistemas de Automatização e Controlo de Edifícios
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SRI	<i>Smart Readiness Indicator</i>
TABS	<i>Thermally Activated Building Systems</i>
TBS	<i>Technical Building Systems</i>
TES	<i>Thermal Energy Storage</i>
TR	<i>Test Room</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
THI	<i>Temperature Humidity Index</i>
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>
ZEH	<i>Zero Energy House</i>

Simbologia e Notações

A	Área [m ²]
C _s	Calor específico [J/kg.K]
\dot{V}	Caudal [m ³ /h]
U	Coeficiente de Transferência de Calor [W/ (m ² .K)]
C	Concentração [ppm]
C _{e(i-sys)}	Custo operacional por transportador de energia e sistema de produção [cent/kWh]
I	Corrente elétrica [A]
E	Energia [kWh]
g _⊥	Fator solar [-]
L	Luminosidade [lux]
P	Potência [W]
p	Pressão [Pa]
R _s	Radiação solar [W/m ²]
R	Resistência [Ω]
T	Temperatura [°C]
U	Tensão [V]
u	Velocidade [m/s]
V	Volume [m ³]

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

Os principais objetivos da construção de edifícios são a proteção e abrigo contra condições exteriores desfavoráveis, para alterar o ambiente exterior e para criar locais propícios com condições controláveis para o desempenho de uma determinada função. Por exemplo, para ensinar construímos escolas em vez de ensinar ao ar livre visto que as salas de aula são mais adequadas pelo seu menor grau de ruído e controlo do nível de iluminação. No entanto, um edifício acaba por gerar consumo de energia associado ao seu aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, etc., sem contar ainda com a energia incorporada na sua construção. Adicionalmente, o edifício é responsável pela emissão de dióxido de carbono associado à energia consumida, à produção dos materiais de construção e ao transporte destes.

Os edifícios possuem um consumo energético de cerca de 40% do consumo total de energia ^[1] na Europa sendo que a climatização dos edifícios compõe a maior fonte de procura de energia e, garantem a emissão de cerca de 36% de dióxido de carbono ^[1]. Mais de metade dos edifícios existentes apresentam um desempenho inferior aos requisitos da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*). Portanto, há um extraordinário potencial de poupança energética nos edifícios existindo uma redução de mais de 50% do consumo de energia ^[2] após a implementação de medidas de eficiência energética. Esta redução energética equivale a uma diminuição da emissão de 400 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente por ano ^[2].

Relativamente a Portugal, os edifícios são responsáveis pelo consumo final de aproximadamente 29,7% de energia ^[2]. O edificado português, principalmente o residencial, denuncia sinais de envelhecimento dos materiais e falta de manutenção que acabam por afetar o desempenho energético dos edifícios ^[2].

A Diretiva 31/2010/UE ^(a), referente ao desempenho energético dos edifícios, não só promoveu medidas de eficiência energética como também estimulou à automatização dos edifícios e à monitorização dos sistemas técnicos destes como uma alternativa eficaz de inspeções. Os consumidores passam a ter acesso a informação mais minuciosa sobre os seus padrões de consumo, criando uma maior consciência sobre o seu comportamento. Existe, ainda, a possibilidade de desenvolver infraestruturas para o carregamento inteligente de veículos elétricos nos edifícios, podendo utilizar as baterias dos carros como fonte de armazenamento de energia elétrica para o edifício. Esta eleição contribui para a flexibilidade energética do edifício e viabiliza o alojamento dos excedentes de produção renovável local.

A Comissão Europeia, em junho de 2019, redigiu um anexo a aconselhar a modernização dos edifícios ^(b). Neste documento afirma-se que a EPBD inclui um requisito que prevê a instalação de SACE (Sistemas de Automatização e Controlo dos Edifícios) em todos os edifícios não residenciais, sejam novos ou existentes, uma vez que podem criar poupanças energéticas relevantes, melhorar a gestão do ambiente interior e fornecer vantagens não só para os proprietários como também para os utilizadores. Isto demonstra que a automatização de edifícios existentes possui impactos consideráveis no desempenho energético. Este procedimento assegura a redução do consumo de energia na etapa inicial e também ao longo da vida útil, possibilitando diminuir os custos de operação.

A automatização dos edifícios proporciona maior eficiência de energia, gestão de sistemas aprimorada, práticas mais sustentáveis e maior conforto para os ocupantes. Todos questões acima mencionadas levaram a este tema para a presente dissertação visto que considero que a integração de sistemas de

^(a) Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, alterada pela Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 e pelo Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de dezembro de 2018.

^(b) Recomendação da Comissão (UE) 2019/1019, de 7 de junho de 2019, relativa à modernização dos edifícios

automação nos edifícios é uma ferramenta importante que contribui de forma benéfica para a economia e para o meio ambiente. Os edifícios com maior desempenho energético são os NZEB inteligentes pelo que houve um foco neste tipo de edifícios na presente dissertação. Este trabalho enquadra-se no âmbito do projeto “NZEB_LAB - Infraestrutura de Investigação da Integração dos Sistemas Solares em Edifícios” (Refª. LISBOA-01-0145-FEDER-022075), financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC) e cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) do Programa Operacional Regional de Lisboa.

1.2. Objetivos

Os objetivos principais desta dissertação são a identificação de critérios de desempenho energético e térmico dos edifícios; identificação de técnicas que promovam a eficiência energética e a utilização de energia renovável; monitorização do desempenho energético e térmico; e, avaliação de modelos integrados para controlo e gestão de edifícios.

Já o objetivo secundário é validar o protocolo de monitorização e verificação dos NZEB, tendo como referência o conjunto de definições propostas pela Task40 da Agência Internacional de Energia, através do qual será necessário definir metas de monitorização, recolher dados do edifício, selecionar métricas, identificar sensores adequados e sistema de aquisição de dados, avaliar fiabilidade técnica, reconhecer e resolver falhas de medição, plano final e instalação, calibração de sensores, comissionamento do sistema de monitorização, definir procedimentos de verificação da qualidade dos dados, pós-processamento de dados, relatórios padrão e, planeamento e implementação da manutenção da operação.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta tese encontra-se organizada da seguinte forma de modo que a que o leitor compreenda a sua evolução:

2. Estado de arte: nesta secção é demonstrada a evolução do conceito de *Net Zero Energy Buildings* (NZEB), a importância da monitorização do edifício, a essência do protocolo M&V (Monitorização e Verificação para edifícios NZEB) e os seus objetivos. Posteriormente, é introduzido o conceito de edifícios inteligentes, as suas particularidades e os benefícios implicados na automatização dos sistemas.

3. Caso de estudo: neste capítulo é apresentado o edifício estudado, a sua localização, a sua tipologia, características que o tornam único e medidas adotadas. São, ainda, descritas as salas de teste do edifício que vão ser avaliadas de modo a estudar a viabilidade da automatização dos seus sistemas técnicos.

4. Monitorização do Solar XXI: nesta secção são expostos os sistemas técnicos monitorizados no edifício e nas salas de teste. São descritos os parâmetros monitorizados, os equipamentos necessários e o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) usado para esta finalidade.

5. Automatização do Solar XXI: nesta secção são identificados os sistemas técnicos preparados para serem automatizados no edifício e nas salas de teste. São apresentados os parâmetros monitorizados relevantes para o controlo dos sistemas, os algoritmos de controlo, os equipamentos usados e o BACS (*Building Automation and Control System*) utilizado.

6. Net ZEB Evaluation Tool: neste capítulo, o desempenho NZEB do edifício Solar XXI é analisado com recurso a uma folha de cálculo tendo em conta vários tipos de definições NZEB e os dados usados.

7. SRI: para verificar o “nível de inteligência” que o edifício Solar XXI poderia ter através das soluções de automatização propostas, nesta secção foi utilizada uma folha de cálculo para determinar o indicador inteligente, os critérios que afetam a determinação deste indicador e os dados empregados.

8. Avaliação do conforto e QAI: nesta secção são abordadas as diferentes metodologias, sejam analíticas ou subjetivas, para inferir o conforto térmico e a qualidade do ar interior no edifício.

9. Resultados: nesta parte da dissertação são demonstrados os resultados subsequentes das avaliações efetuadas e a sua análise.

10. Conclusões: neste capítulo final são expostas as conclusões inferidas durante o desenrolamento do trabalho proposto, principalmente sobre a execução dos objetivos eleitos e futuras perspetivas.

2. Estado de arte

2.1. Edifícios NZEB

A definição assumida de NZEB (*Net Zero Energy Building*) é essencial uma vez que afeta as seleções que os arquitetos e engenheiros realizam de forma a alcançar os padrões estabelecidos pela definição. Dependendo das metas do projeto, diferentes definições de NZEB podem ser adequadas. Deste modo, é necessário explicar a evolução histórica do conceito de 'zero-energy'. A primeira definição surgiu em 1977 e segundo *Esbensen and Korsgaard* ^[3], um ZEH (*zero-energy house*) é considerado autossuficiente no aquecimento do espaço e no fornecimento de água quente em condições climáticas normais na Dinamarca. Em 1995, *Gilijamse* ^[3] definiu ZEH como um edifício onde não existe consumo de combustíveis fósseis e, o consumo anual de eletricidade é igual à produção anual de eletricidade. Em 2004, *Iqbal* ^[3] considerou um ZEH como aquele que combina de forma ideal a tecnologia de energia renovável disponível no mercado com as técnicas de construção de eficiência energética de ponta. Em 2006, de acordo com *Torcellini et al.* ^[3], um ZEB (*zero-energy building*) é um edifício residencial ou comercial com necessidades energéticas muito reduzidas através de ganhos de eficiência de modo que as necessidades energéticas possam ser suprimidas com produção de energia renovável. Em 2007, EISA ^[3] estabeleceu que um edifício comercial de NZE (*net-zero energy*) tem um alto desempenho e é projetado, construído e operado para requerer uma quantidade muito reduzida de energia para operar, atender ao balanço de necessidades energéticas de fontes de energia que não produzem gases de efeito de estufa e ser economicamente viável. *Mertz et al.* ^[3], em 2007, estabeleceu que um edifício NZE gera a mesma quantidade de energia que consome ao longo de um ano. *Laustsen* ^[3], em 2008, esclareceu que NZEB (*net zero energy buildings*) são edifícios neutros ao longo de um ano, ou seja, que fornecem tanta energia às redes quanta a que retiraram destas. Nesses termos, não precisam de combustível fóssil para aquecimento, arrefecimento, iluminação ou outros usos de energia, embora por vezes consumam energia da rede.

Um 'Zero Energy Building' (ZEB) ou *off-grid* ZEB no seu conceito mais estrito é absolutamente independente do ponto de vista energético, ou seja, não requiere qualquer tipo de ligação à rede elétrica nem como reserva visto que pode autonomamente suprir as suas necessidades energéticas, graças à capacidade para armazenar energia para períodos mais críticos como noites e/ou invernos ^[3]. Já como determinado anteriormente, um 'Net Zero Energy Building' ou *on-grid* ZEB são edifícios neutros ao longo de um ano pelo que esta definição exige uma ligação à rede elétrica para permutar energia ^[3]. Estes dois conceitos podem ser observados na [Figura 1](#), que demonstra a autonomia do ZEB e as trocas de energia do NZEB.

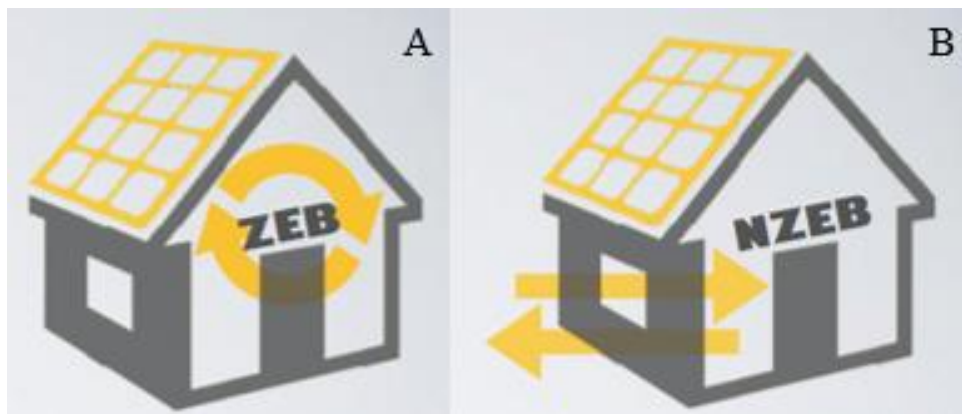
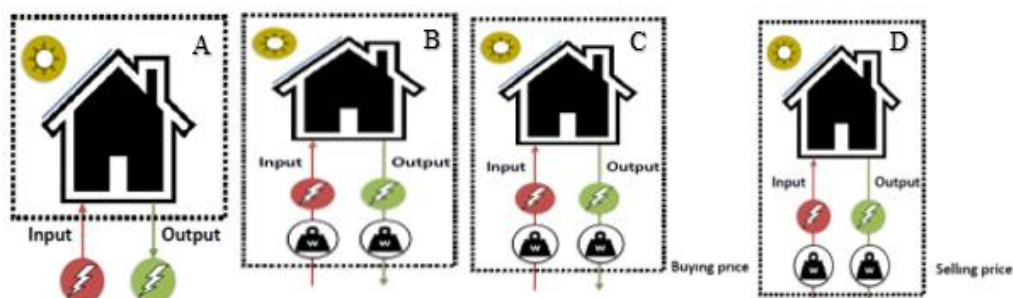


Figura 1: A – ZEB ou off-grid ZEB; B – NZEB ou on-grid ZEB ^[3]

Existem 4 métricas distintas de ZEB: *site*, *source*, *cost* e *emissions* apresentadas na [Figura 2](#). Um *site* ZEB produz tanta energia quanta consome, quando contabilizado no local ^[4]. É preferível ter geração no local dentro da área de construção como painéis fotovoltaicos instalados no telhado ou coletores solares para água quente. O *site* ZEB é facilmente verificado pelas medições no local e isso ajuda a determinar com precisão o progresso para alcançar os objetivos do ZEB. O *source* ZEB produz tanta energia quanta usa conforme medido na fonte de energia ^[4]. Para determinar a energia total da fonte de um edifício é necessário multiplicar a energia importada e a exportada pelos respetivos fatores de conversão da energia primária. Um *cost* ZEB recebe crédito financeiro pela energia exportada igual ao cobrado nas contas de serviços públicos ^[4]. A quantia recebida pela eletricidade exportada tem de compensar os custos de energia, distribuição, pico da procura, impostos e arrecadações da medição do uso de eletricidade e gás. Esta definição é inconstante devido à variação das tarifas dos serviços públicos, logo um edifício pode ser *cost* ZEB num ano e no outro não se verificar. Já um *emissions* ZEB produz a mesma quantidade de energia renovável livre de emissões tanta a que usa de fontes de energia produtoras de emissões ^[4]. Se um edifício obtém toda a eletricidade que consome de uma fonte *off-site* com zero emissões, não precisa de gerar energia renovável para compensar. No entanto, se o mesmo edifício utilizar gás natural para aquecimento será preciso produzir e exportar energia renovável livre de emissões suficiente para equilibrar as emissões implicadas no uso de gás natural. O balanço energético de um edifício pode ser calculado tipicamente de duas formas: consumo/geração e importação/exportação. O balanço consumo/geração deve respeitar a seguinte equação: G (geração ponderada) – L (carga ponderada) ≥ 0 , ou seja, as cargas de energia usadas para aquecimento, arrefecimento, AQS (águas quentes sanitárias), ventilação, iluminação e outros devem ser pelo menos cobertas pela produção de energias renováveis ^[5]. O balanço importação/exportação deve cumprir a seguinte equação: E (exportação ponderada) – D (importação ponderada) ≥ 0 pelo que a energia exportada deve igualar ou superar a energia importada ^[5]. Enquanto que o consumo/geração se foca nas quantidades brutas de consumo e geração, desconsiderando a sua interação, a importação/exportação concentra-se nos fluxos de energia trocados entre o edifício e as redes elétricas. No entanto, de certa forma estes dois tipos de balanço são equivalentes ^[5].



[Figura 2](#): A - Site ZEB; B – Source ZEB; C – Emission ZEB; D – Cost ZEB ^[3]

Deve-se ter cuidado para não confundir NZEB (*Net Zero Energy Building*) com nZEB (*Nearly Zero Energy Building*). O NZEB já foi definido anteriormente como sendo um edifício com balanço energético nulo e, é possível verificar este conceito na [Figura 3](#). Já o nZEB é um “edifício com balanço energético quase nulo” cujo consumo quase nulo ou muito baixo de energia deve ser abrangido de forma bastante extensa por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia derivada de produção renovável local ou das proximidades ^(c).

^(c) Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 no desempenho energético dos edifícios (reformulação)

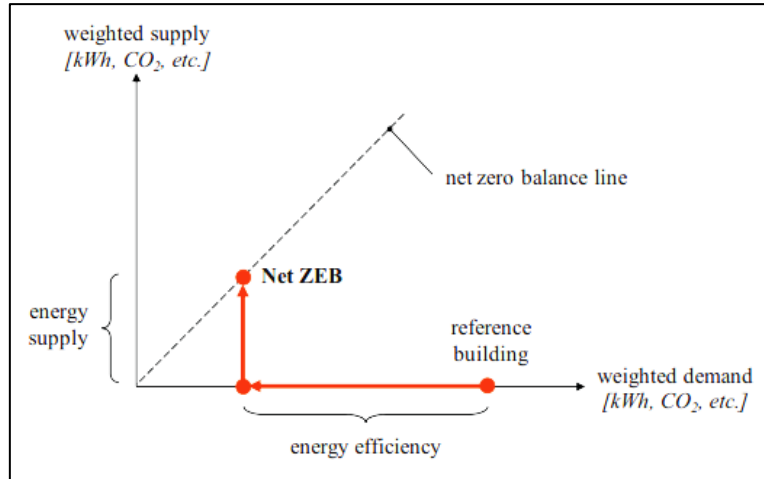


Figura 3: Representação do conceito de balanço de NZEB [5]

A fração renovável local é um indicador de desempenho energético que pode ser usado para verificar se um edifício atende aos requisitos necessários para ser NZEB ou nZEB. A fração renovável local, cujo cálculo é efetuado pela Equação 2.1, é uma reflexão entre a energia renovável produzida pelo edifício, consumida ou passível de ser consumida, e a energia consumida pelo mesmo sendo que os excedentes energéticos não são contabilizados. Ambas as energias devem ser multiplicadas pelos respetivos fatores de conversão que assumem valores distintos consoante a origem da energia e o vetor energético. Pela Figura 4 afere-se que os edifícios podem ter a designação de ZEB (Zero Energy Buildings) quando a sua fração renovável local iguala ou excede os 85% [6]. Se a fração renovável local de um edifício for igual ou superior a 85% e inferior a 90%, o edifício é nZEB e possui a classe energética de A⁺ [6]. Se for igual ou superior a 90% e inferior a 98,5%, o edifício é nZEB⁺ e a sua classe energética é A⁺⁺ [6]. Já quando a fração renovável local excede os 98,5% o edifício é considerado NZEB e atinge a máxima classificação energética de A⁺⁺⁺ [6]. Quando a fração renovável local tem um valor abaixo dos 85%, o edifício insere-se na designação HEPB (High Energy Performance Buildings). A reformulação da EPBD^(d) determina que todos os edifícios novos sejam nZEB a partir de 31 de dezembro de 2020 e, que os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam nZEB a partir de 31 de dezembro de 2018. Isto demonstra que os edifícios NZEB e nZEB são o próximo passo para a construção e modernização dos edifícios, sejam eles novos ou existentes, residenciais ou comerciais.



Figura 4: Representação da classificação geral do desempenho de acordo com a fração renovável local [6]

$$F_{ren,l} = \frac{\sum_i (E_{prod,i} \times f_{pu,i})}{\sum_i (E_{c,i} \times f_{pu,i})} \times 100 \quad (2.1)$$

^(d) Recomendação da Comissão (UE) 2016/1318, de 29 de julho de 2016, relativa às orientações para a promoção de edifícios com necessidades quase nulas de energia e das melhores práticas para assegurar que, até 2020, todos os edifícios novos tenham necessidades quase nulas de energia

2.2. Processos standard M&V para os edifícios NZEB

O desenvolvimento de procedimento padrão de medição e verificação para edifícios NZEB é necessário para verificar a sua definição e calcular o balanço energético associado a esta. Existem casos em que o desempenho energético simulado dos edifícios encontra-se em conflito com o real devido às considerações importantes realizadas sobre as condições meteorológicas do local onde o edifício está localizado, o comportamento dos utilizadores e a gestão do edifício^[7]. Assim, estas considerações não refletem fielmente as atuais condições limite durante a operação. Deste modo, a monitorização e verificação do edifício em estudo irá permitir averiguar estas incoerências e corrigi-las.

Os dois tipos de balanço mais comuns são consumo/geração e importado/exportado^[7]. Este balanço deve ser realizado após a escolha do tipo de abordagem: do edifício todo ou submedição de uma componente/sistema isolado^[7]. A abordagem do edifício inteiro baseia-se na medição do fluxo de energia para todo o edifício realizado no limite deste ou através de medidores de serviços públicos (gás e eletricidade). Por outro lado, a abordagem de submedição consiste na medição do uso isolado de energia de componentes/sistemas recolhido por meio de um equipamento mais dedicado. O balanço deve ser calculado em energia primária ou equivalente de emissão de carbono (os fatores de conversão equivalentes são necessários) e, os dados devem ser recolhidos após identificar os limites de monitorização e definir a frequência e duração de recolha^[7]. As medições podem ser pontuais cuja duração é muito curta, útil para detetar condições instantâneas e podem ser repetidas para esboçar tendências ao longo do tempo. As medições de curto prazo são de breve duração (exemplo: semanas) e fornecem informações sobre comportamentos dependentes do tempo. As medições de longa duração abrangem um período superior a um ano e são vantajosas para avaliar as métricas afetadas pelas variações meteorológicas, comportamentos do utilizador e condições de operação.

Este procedimento para além de verificar o balanço energético, deve monitorizar a qualidade do ambiente interior para certificar que o nível de conforto dentro do edifício é aceitável para os ocupantes e que não foi comprometido para reduzir o consumo de energia. A medição da qualidade do ambiente interior é importante visto que se não existirem condições de conforto, o ocupante irá reagir para encontrar soluções que terão impacto no desempenho energético. Os parâmetros mais comuns de monitorização para estimar o conforto são a temperatura, humidade relativa e luminosidade^[7]. O conforto do ocupante pode ser avaliado de modo direto (medições) ou de modo indireto (questionários). Existem quatro níveis de medição do conforto: Nível 1 – Monitorização Básica (os parâmetros medidos são a temperatura do ar interior, temperatura do ar exterior e irradiação global); Nível 2 – Monitorização Básica Avançada (medição da humidade interior e temperatura operativa); Nível 3 – Monitorização Detalhada (medição da velocidade do ar interior, concentração de CO₂ e humidade exterior) e Nível 4 - Monitorização Detalhada Avançada (medição de componentes orgânicas voláteis, fator *daylight* / índice de *daylight* útil, temperatura radiante média, radiação solar global e difusa, direção e velocidade do vento)^[7]. É essencial escolher a frequência e a duração da avaliação da qualidade do ambiente interior devido à sua associação com as condições climáticas e a sazonalidade. Deve-se avaliar a qualidade do ambiente interior em estações opostas como verão e inverno para averiguar se o edifício está preparado para proporcionar conforto aos seus ocupantes em condições climáticas muito diferentes.

Após a recolha de todos os dados energéticos relevantes e o seu pós-processamento é necessário redigir relatórios-padrão com uma frequência mínima de um ano^[7]. Devem incluir a descrição do edifício e do sistema de monitorização, resultados do ano corrente e resultados para a duração geral da monitorização. Estes relatórios devem abranger a análise do desempenho energético do edifício e identificar possíveis fatores de influência. Caso o edifício possua fontes de energia renovável, os dados de produção e a sua análise devem constar neste relatório. A qualidade do ambiente interior e o conforto dos ocupantes em diferentes alturas do ano são importantes pelo que a sua avaliação deve estar incluída no relatório.

A monitorização de um edifício NZEB permite verificar se o edifício está dentro das expectativas do projeto; favorece a eficiência energética, aumentando a consciência dos ocupantes do edifício em relação ao uso de energia, sugerindo medidas de poupança energética a serem adotadas e avaliando-as posteriormente; controla as instalações do edifício para garantir as condições de conforto adequadas; oferece suporte ao reconhecimento de soluções de *design* com eficiência energética e demonstra a

eficácia das políticas de energia ^[7]. No protocolo padrão de monitorização e verificação de edifícios NZEB estão incluídas sugestões para identificar áreas relevantes a serem medidas e para a quantidade e posicionamento de sensores de monitorização. Uma padronização dos procedimentos de monitorização permite a comparação de desempenhos de edifícios e apoia o desenvolvimento e a disseminação de procedimentos de avaliação padrão eficazes e acessíveis ^[7].

2.3. Edifícios inteligentes

Os edifícios inteligentes são estruturas aptas para economizar energia e usufruir ao máximo cada recurso utilizando tecnologias, contribuindo para as metas de sustentabilidade estabelecidas. A noção de edifícios inteligentes adquiriu popularidade em 1980 com a automatização de sistemas técnicos ^[8].

Estes edifícios conseguem adaptar o seu consumo em função das próprias necessidades energéticas e térmicas, possuem um consumo energético racional devido aos sistemas de monitorização e atuação e, conseguem utilizar a energia renovável produzida no local ou nas proximidades. Recorrem a tecnologias eletrónicas, de informação e comunicação tais como sensores, controladores, dispositivos de Internet das Coisas em rede. Se os dados recolhidos forem geridos adequadamente é possível obter uma automatização capaz de monitorizar o desempenho energético, detetar impropriedades, identificar possíveis causas, realizar ajustes e correções automaticamente. Deste modo, alcança-se sistemas inteligentes e eficientes de iluminação, climatização, ventilação mecânica, elevadores, escadas rolantes e equipamentos elétricos que só são ativos quando existe ocupação numa determinada divisão, desligados quando a divisão se encontra sem ocupantes e, sistemas possíveis de regulação conforme desejado. A Comissão Europeia prevê as seguintes vantagens dos edifícios inteligentes: uso otimizado de energia em função da produção (local), armazenamento de energia local aperfeiçoado, diagnóstico automático e previsão da manutenção e, maior conforto para os ocupantes via automatização ^[9].

A Comissão Europeia introduziu o instrumento político *Smart Readiness Indicator* (SRI) com o objetivo de facilitar e apoiar a transformação inteligente do *stock* de edifícios europeus ^[11] considerando que os edifícios devem passar a ter um papel mais ativo dentro do sistema energético inteligente. Este indicador permitirá classificar a capacidade dos edifícios de adaptar a sua operação às necessidades dos ocupantes, otimizando a eficiência energética e o desempenho geral e, gerir o seu consumo conforme as necessidades do próprio edifício e da rede elétrica (flexibilidade energética). Um edifício com uma classificação média a alta de SRI deve ser capaz de melhorar a eficiência energética e o seu desempenho recorrendo às informações, tecnologias de comunicação e sistemas eletrónicos. O SRI deve promover os benefícios resultantes da automatização do edifício e da monitorização eletrónica dos sistemas técnicos para os proprietários e ocupantes em relação às poupanças energéticas e financeiras, qualidade do ambiente interno melhorado, entre outros ^[10]. As vantagens esperadas da implementação do SRI são a utilização de energia otimizada em função da produção (local), armazenamento (local) de energia aperfeiçoado, previsão de manutenção e diagnóstico automático e, conforto aprimorado para os residentes através da automatização ^[10]. Os critérios de impacto usados no SRI são: energia, flexibilidade energética, produção local, conforto, saúde e bem-estar, manutenção e previsão de falhas e, informação para os ocupantes ^{[9][10]}. O SRI opera nos seguintes domínios: aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias, iluminação, ventilação mecânica, envolvente dinâmica do edifício, geração de energia, gestão da procura de energia, carregamento de veículos elétricos, monitorização e controlo ^{[9][10]}. Estes fatores de impacto no SRI estão representados na [Figura 5](#). O SRI deve estar pronto para se adaptar em resposta às necessidades do ocupante, assumindo o controlo direto do seu consumo e/ou geração de energia (exemplo: gestão do sistema de aquecimento com base nos sensores de ocupação); para facilitar a manutenção e a operação eficiente do edifício de forma mais controlada (exemplo: recorrer a sensores de dióxido de carbono para decidir quando aumentar o nível de ventilação); e para se adaptar em resposta à situação da rede elétrica (exemplo: reduzir o consumo de energia quando a procura na rede é elevada). Esta interligação de sistemas está exemplificada na [Figura 6](#). O SRI pode ser, portanto, empregado como uma ferramenta complementar para a emissão de certificados do desempenho energético.

A automatização de um edifício requer que os seus sistemas técnicos saibam como agir de acordo com determinadas condições. Por exemplo, uma lâmpada deve acender numa sala se esta registar ocupação

e caso o sensor de luminosidade detetar um nível de iluminação inferior ao estabelecido. Para a automatização são utilizados algoritmos uma vez que estes são uma forma organizada de expressar uma determinada sequência de passos a seguir para atingir o objetivo definido. É como fornecer uma receita para um prato específico e executar os passos indicados exatamente como estão descritos para obter o resultado pretendido. Um algoritmo deve possuir testes e condições bem definidos e não ambíguos.

Um exemplo de edifício inteligente é o *Taipei Financial Center*, em Taiwan, um edifício com 101 pisos que possuem 3 400 dispositivos de controlo que conseguem sincronizar o funcionamento automático do ar-condicionado com a presença de pessoas^[8]. Este edifício de 508 metros de altura só possui escritórios e foi finalizado em 2004. O resultado da utilização de tecnologias inteligentes é a poupança de 700 000 dólares (cerca de 639 310 euros) por ano face a um edifício convencional equivalente^[8]. Este é o maior edifício com a certificação *Leed (Leadership in Energy and Environmental Design)* emitida por *U.S. Green Building Council*, uma instituição que reconhece edifícios contruídos de acordo com exigentes padrões de qualidade e eficiência^[8]. Portanto, a automatização dos edifícios é uma medida eficaz na poupança energética e económica.



Figura 5: Critérios e domínios de impacto do SRI. Adaptado de^[10]



Figura 6: Representação do conceito Smart Readiness Indicator num edifício^[10]

Existe uma correlação forte entre os edifícios NZEB, a monitorização destes e o indicador inteligente obtido para estes edifícios (Figura 7). Com a integração das energias renováveis e a contribuição das mesmas para o balanço energético nulo num NZEB, a monitorização deste tipo de edifícios torna-se muito relevante para analisar o desempenho real em termos de consumos e produção. Adicionalmente, uma monitorização periódica é importante para certificar que o edifício cumpre os requisitos necessários para ser NZEB. O cálculo do SRI nos edifícios NZEB torna o desempenho dos mesmos ainda mais relevante, quantificando a sua capacidade de adaptação relativamente a redução dos consumos, uso de energia renovável, manutenção dos níveis de conforto e as necessidades da rede. A monitorização e verificação e, a determinação do indicador inteligente são instrumentos úteis na análise do desempenho energético e térmico dos edifícios, principalmente os NZEB.

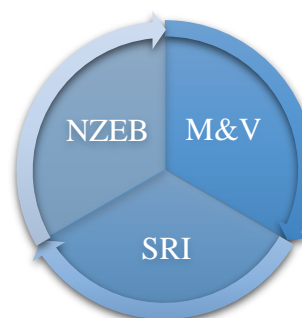


Figura 7: Interligação entre edifícios NZEB, a monitorização e o Smart Readiness Indicator

3. Caso de estudo

O caso de estudo desta dissertação é constituído pelo Edifício Solar XXI (escala do edifício) e Salas de Teste (*Test Room*). A diferença entre os dois casos de estudo reside no nível de monitorização e automação que foi implementado. Estas distinções são analisadas mais pormenorizadamente nos Capítulos 4 e 5.

3.1. Edifício

O 1º caso de estudo desta dissertação é o edifício Solar XXI do Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P., localizado no *campus* da Estrada do Paço do Lumiar em Lisboa. Trata-se de um edifício de serviços com gabinetes de trabalho, laboratórios, auditório e salas de reunião. Possui uma área total de $1\,500\text{m}^2$ ^[11] que se divide por 3 pisos, um dos quais se encontra semienterrado, porém a área útil é de $1\,200\text{m}^2$ ^[11]. As salas de maior ocupação estão orientadas a Sul para aproveitar a radiação solar e promover, deste modo, ganhos de calor no inverno. Os laboratórios e salas de reunião, com menor ocupação, encontram-se orientados a Norte. Na zona central existe um espaço de circulação com uma claraboia que ilumina de forma zenital os 3 pisos e pode operar para a ventilação^{[11][12]}. Este edifício foi construído em 2006 com um custo de 800 €/m^2 ^[13] para fins experimentais, de teste e investigação. O piso térreo do edifício pode ser observado na [Figura 8](#).

3.1.1. Descrição da envolvente

As paredes são simples de alvenaria de tijolo com 22 cm de espessura, com aplicação de isolamento pelo exterior em poliestireno expandido de 6 cm, pelo que as fachadas possuem um coeficiente de transferência de calor (U) de $0,45\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. A cobertura possui uma laje maciça com isolamento exterior de 5 cm de poliestireno expandido e 5 cm de poliestireno extrudido, com U de $0,26\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. O piso em contato com o solo tem 10 cm de poliestireno expandido como isolamento exterior e tem um U de $0,55\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Os vãos envidraçados são de vidro duplo incolor com caixilho de alumínio de correr com U de $4,5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e na fachada Sul estão cobertos por estores exteriores de lâminas reguláveis pelo que os fatores solares (g_{\perp}) são de 0,09 no verão^{[11][12]}. A envolvente tem, assim, um coeficiente de transferência de calor médio de $0,88\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ^[13].

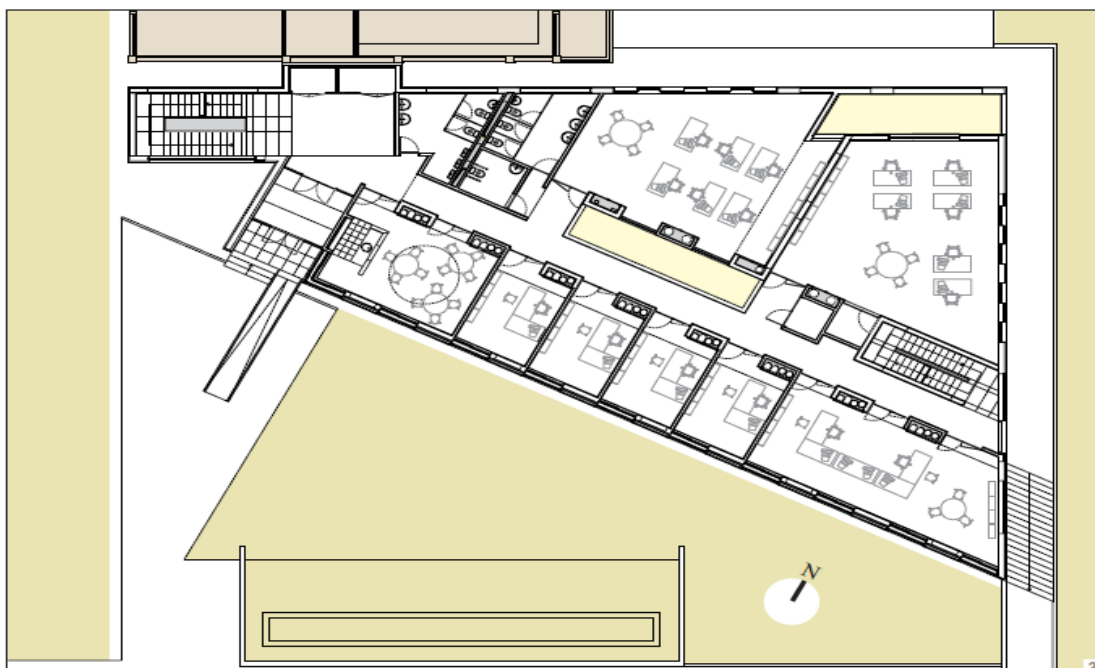


Figura 8: Planta do piso térreo^[11]

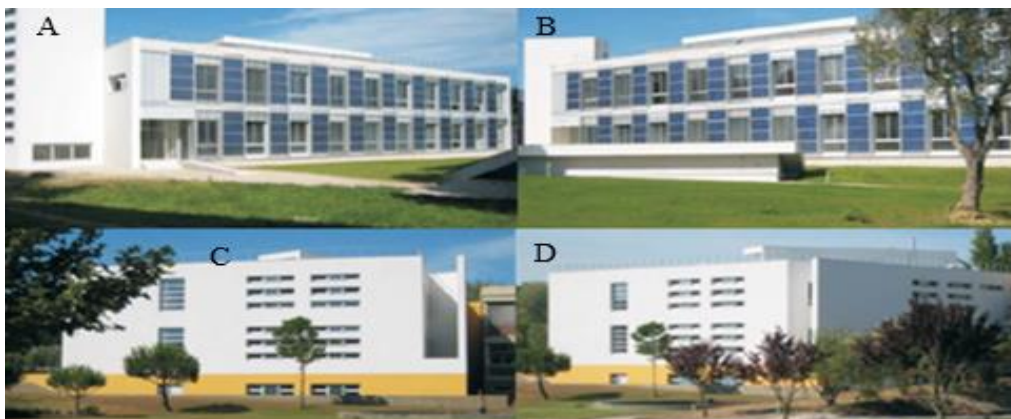


Figura 9: A – Fachada Oeste-Sul; B – Fachada Sul; C – Fachada Este; D – Fachada Este-Norte ^[11]

A potenciação dos ganhos solares no inverno foi obtida a partir da orientação de uma fachada do edifício exatamente para Sul sendo que esta fachada possui uma maior área envidraçada do que as outras fachadas como se pode verificar pela *Figura 9*. O sombreamento é realizado através de estores de lâminas exteriores reguláveis pelo ocupante que permitem controlar a radiação solar e a radiação luminosa que penetram na divisão. O sombreamento exterior é o mais adequado e eficiente já que no verão impede o sobreaquecimento da divisão pela irradiação térmica emitida pelo estore aquecido ^[11].

3.1.2. Sistema de aquecimento passivo

A integração de painéis fotovoltaicos na fachada Sul tem o benefício adicional de permitir recuperar o calor gerado pelos painéis e, usar esta energia térmica para aquecer as salas e gabinetes desta fachada. O espaço existente entre o painel fotovoltaico e a parede exterior do edifício é aquecido, promovendo correntes de convecção natural. Na *Figura 11* nota-se que cada sala orientada a Sul possui duas aberturas, uma na parte superior e outra na parte inferior da parede, controladas pelo ocupante e que possibilitam corresponder com o espaço posterior dos painéis. No inverno, o ocupante pode abrir as duas aberturas na parede e permitir, assim, uma circulação contínua de ar arrefecido que sai da sala e a sua reentrada após ter sido aquecido pelo calor produzido pelos painéis. No verão, o ocupante pode fechar as duas aberturas para que o calor gerado não aqueça a sala ou pode abrir só a abertura inferior para aproveitar o efeito de chaminé de modo a forçar a saída do calor interior para o exterior. Na primavera ou no outono, o ocupante pode abrir só a abertura superior para usar este sistema para aquecer ar novo proveniente do exterior ^[11] ^[12]. Estes diferentes funcionamentos do BIPV encontram-se ilustrados na *Figura 10*.

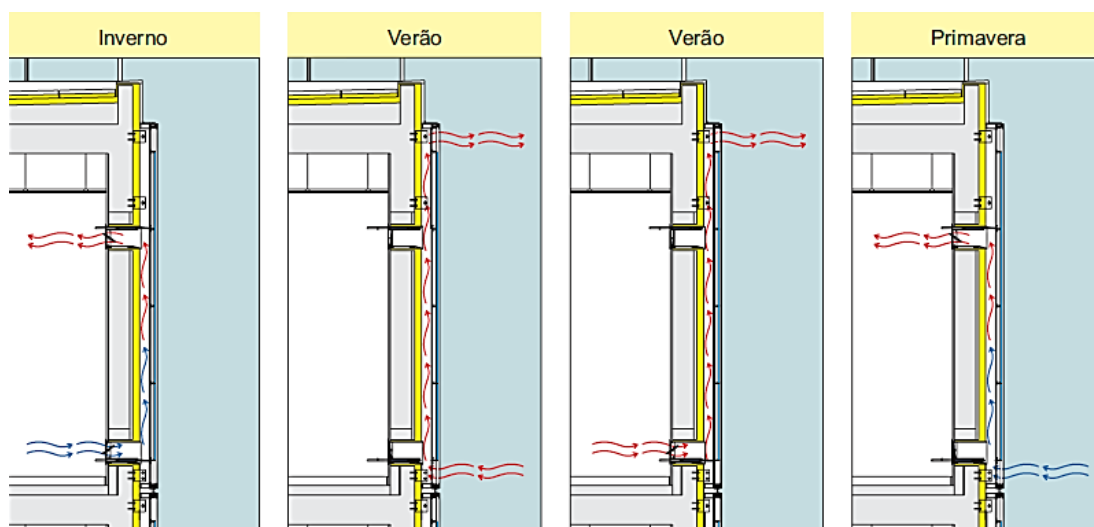


Figura 10: Esquema do funcionamento do sistema de recuperação do calor pelos painéis fotovoltaicos ^[11]



Figura 11: Orifícios de ventilação no interior das salas orientada a Sul^[11]

3.1.3. Sistema de arrefecimento passivo

Este edifício recorre a um sistema de arrefecimento passivo, representado na [Figura 12](#), que pode ser utilizado no verão. Este sistema consiste no arrefecimento do ar através dos tubos enterrados que permitem a entrada deste ar arrefecido no interior do edifício. Deste modo, é aproveitado o potencial de frio do solo que inclusive no verão apresenta temperaturas entre 16 e 18°C^{[11] [12]}. Este “permutador de calor” passivo é constituído por 32 tubos de manilhas de cimento com um diâmetro de 30 cm e enterrados a 4,6 m abaixo do solo^{[11] [12]}. O ar quente proveniente do exterior entra num poço de alimentação a 15 m do edifício, transfere o calor para o solo que se encontra a uma temperatura inferior e, posteriormente, este ar mais fresco entra no edifício por tubos verticais. Cada sala do piso térreo e do piso superior possui dois tubos e as respetivas saídas de ventilação controláveis pelo ocupante como se nota pela [Figura 13](#). A este sistema conjuga-se as estratégias de arrefecimento noturno e as de ventilação natural^{[11] [12]}.

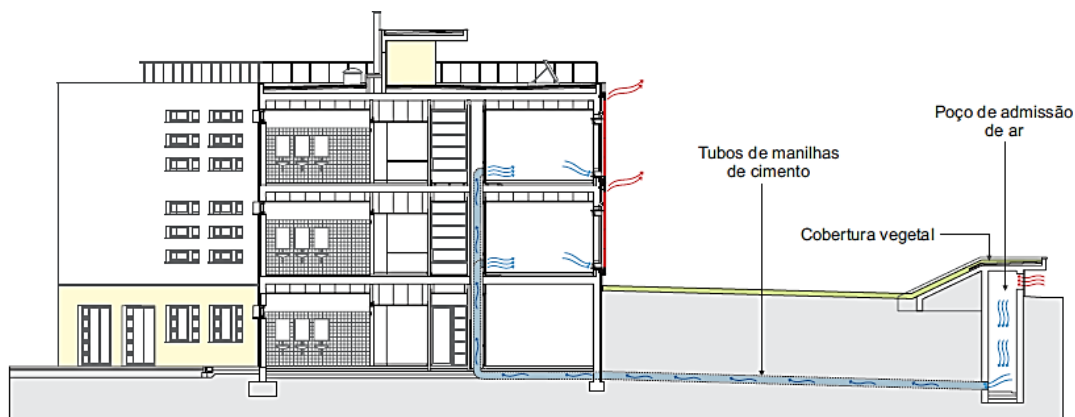


Figura 12: Sistema de arrefecimento passivo do ar através de tubos enterrados^[11]



Figura 13: Saídas de ventilação no interior das salas^[11]

3.1.4. Ventilação e iluminação natural

As aberturas nas diferentes fachadas foram projetadas de forma a que haja ventilação transversal (Norte-Sul ou Sul-Norte) que possa percorrer as salas e o edifício todo. Todas as portas e vãos interiores têm bandeiras superiores de lâminas reguláveis que coexistem com o poço central de iluminação, promovendo a ventilação natural. O topo do poço possui aberturas motorizadas que permitem a ventilação ascendente devido ao efeito de chaminé. Esta ventilação ascendente ocorre igualmente nas escadas principais do lado Oeste do edifício já que existem aberturas na parte inferior e superior e, ainda, no bloco de escadas a Este devido a uma claraboia motorizada de “desenfumagem”. Já a iluminação natural é promovida na orientação Sul pelos vãos exteriores com extensas áreas envidraçadas, pelas portas de comunicação com o corredor que possuem bandeiras translúcidas e por uma claraboia no nível da cobertura que permite um poço de luz nos três pisos na zona central do edifício. Nas salas a Norte existem superfícies translúcidas nas portas e vãos interiores que possibilitam comunicar com o poço de luz zenital. Já as salas na fachada Norte-Este possuem uma parede exterior cega que opera como uma superfície que reflete a luz e que permite um nível muito bom de iluminação nas salas desta fachada^[11].

A otimização da qualidade térmica da envolvente, a potenciação dos ganhos solares, o aproveitamento do calor produzido pelos painéis fotovoltaicos, o sistema de arrefecimento pelos tubos enterrados no chão, a ventilação e iluminação natural são estratégias passivas adotadas que permitiram reduzir consideravelmente o consumo energético do edifício.

3.1.5. Produção renovável

Como este edifício estuda a área de Energias Renováveis, o Solar XXI incorpora tecnologias de energia solar ativa e passiva. Na fachada Sul, que recebe maior incidência solar, foi integrado um sistema solar fotovoltaico com painéis modulares de silício policristalino e este sistema foi ainda projetado de forma a usufruir do calor gerado pelos painéis fotovoltaicos - BIPVT. De seguida, foram incorporados dois sistemas solares fotovoltaicos distintos no parque de estacionamento. Para as condições específicas de integração vertical na fachada e para o clima de Lisboa, o sistema PV na fachada produz cerca de 12 000 kWh/ano e, o sistema PV do parque de estacionamento gera no total cerca de 25 000 kWh/ano^{[11] [12] [13]}. Já os coletores térmicos, conjugados com um sistema de armazenamento de água quente na cave, têm apenas a função de aquecimento ambiente. Este sistema é assistido por uma caldeira a gás natural existente no piso enterrado^{[11] [12] [13]}. Na [Tabela 1](#) estão sumarizados os sistemas de energia renovável existentes para a produção elétrica e térmica do Solar XXI e, na [Figura 14](#) é possível observar estes sistemas.

Tabela 1: Dados dos sistemas de energia renovável. Adaptado de^[13]

RES	Integração	Área [m ²]	Potência pico instalada [kW]	Produtividade [kWh/kW]	Produção anual [kWh/ano]
Módulos PV de silício policristalino	Fachada sul do edifício	96	12	1 004	~ 12 000
PV de silício amorfo	Parque de estacionamento 1	95	6	1 401	~ 8 000
Módulos PV CIS de película fina	Parque de estacionamento 2	110	12	1 401	~ 17 000
Coletores solares térmicos	Cobertura do edifício	16	-	-	11 MWh



Figura 14: A – Módulos fotovoltaicos da fachada Sul; B - Coletores solares na cobertura; C – Módulos fotovoltaicos do parque de estacionamento ^[12]

Este edifício foi projetado para fins de demonstração com integração de conceitos de tecnologias renováveis. É energeticamente eficiente, possui um baixo consumo energético, incorpora um conjunto de sistemas solares passivos e ativos e adotou diversas medidas passivas. A otimização térmica da envolvente, o aumento da área de captação de ganhos solares, os dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a Sul, a fachada fotovoltaica para aproveitamento elétrico, a recuperação do calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento ambiente, os coletores solares para aquecimento ambiente e o sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados são algumas das características deste edifício que o tornam tão singular. É de salientar que aproximadamente 80% ^[12] do consumo energético do edifício é de origem renovável, as necessidades de aquecimento (N_{ic}) e as de arrefecimento (N_{vc}) são inferiores às necessidades equivalentes de referência (N_i e N_v) pelo que o edifício cumpre os requisitos da Regulamentação Térmica de Edifícios em Portugal: N_{ic} ($6,6 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) < N_i ($51,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) e N_{vc} ($24,8 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) < N_v ($32,0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) ^[11]. Em termos de energia primária, foi estimado um consumo de energia nominal (IEE_{nominal}) de $16 \text{ kgep/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[11] em 2010, o que corresponde a uma classe energética de A⁺ ^(e). Caso fosse projetado um edifício de comércio e serviços padrão segundo o Código de Construção Português equivalente ao Solar XXI, este teria um consumo de $101 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[12] (incluindo cargas típicas relacionadas com o utilizador) (a). Caso este edifício sofresse melhorias ao nível da envolvente iria poupar cerca de $11 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[12], logo o consumo iria diminuir para $90 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[12] (b). O melhoramento da envolvente conjugado com as estratégias passivas descritas anteriormente permite que este edifício seja equiparável com o Solar XXI, com um consumo de $43 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[12] (c) sendo que cerca de $36 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ^[12] deste consumo é satisfeito pela produção renovável do edifício (d).

Esta evolução pode ser constatada na Figura 15. Em 2011, a análise da monitorização demonstrou que o Solar XXI teve um consumo elétrico total de 36 MWh e a produção elétrica de quase 38 MWh, fornecida pelos três sistemas fotovoltaicos do edifício ^[13]. Logo, fica comprovado que o edifício consegue produzir quantidades necessárias de energia elétrica para satisfazer o grande parte do seu consumo, numa base anual.

O estudo do edifício Solar XXI permitiu a identificação de algumas técnicas que promovem eficiência energética e a incorporação de renováveis.

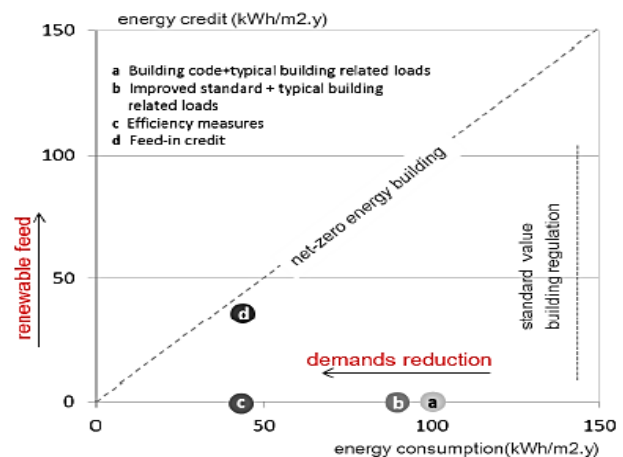


Figura 15: Percurso realizado pelo Solar XXI para atingir o desempenho NZEB ^[13]

^(e) Estes valores foram calculados à luz do RSECE, instituído pelo já revogado Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril.

3.2. Salas de teste

O 2º caso de estudo trata-se das salas de teste, laboratórios do Solar XXI para ensaios de elementos/protótipos de fachada (para os NZEB). Para esta experiência foram designadas duas salas orientadas a Sul no piso térreo. Atualmente, cada sala possui diferentes protótipos instalados, contudo todas as salas têm os sistemas (BIPV, estores, tubos enterrados, ventilação, portas, aquecimento) completamente automatizados ou preparados para estarem automatizados. Adicionalmente, todas as variáveis de controlo da automatização irão passar por uma monitorização pormenorizada e minuciosa.

Cada sala de teste terá uma consola ligada a sensores de temperatura, humidade relativa e dióxido de carbono, com uma tela que permitirá visualizar os valores medidos destes parâmetros. A temperatura pode ser alterada, inserindo o valor desejado no visor da consola, que irá comunicar com o(s) radiador(es) da sala, ligando ou desligando este equipamento e, regulando as válvulas. Caso os níveis de dióxido de carbono superem o valor definido pelo utilizador, a ventilação é acionada ou o nível de ventilação é aumentado de forma a promover renovação de ar e dissipação do dióxido de carbono. Para além dos sensores mencionadas anteriormente, existe um sensor de presença e um sensor de luminosidade por sala de teste. Estes sensores ativam as seis luminárias existentes por sala caso haja ocupação e só se o nível de iluminação for inferior aos níveis requeridos para uma área de trabalho. Todos estes sensores e sistemas podem ser contemplados na [Figura 16](#).

A sala de teste 1 tem os seguintes parâmetros como entradas digitais: interruptor de luz, sensor de presença, caudalímetro do radiador, interruptor comandável dos estores motorizados enquanto que as saídas digitais são: comando motores de gavetas cima e baixo, comando subir/descer estores, comando iluminação, comando registo de ventilador e comando ventiladores da gaveta. Já as entradas analógicas são: sensor de luminosidade, temperatura da conduta de ventilação, temperatura do radiador de entrada e retorno, temperatura da gaveta superior e inferior e, as saídas analógicas são: regulação da iluminação e regulação do registo de renovação ar-porta.

A sala de teste 2 tem os seguintes parâmetros como entradas digitais: interruptor de luz, sensor de presença, caudalímetro do radiador, botões subir/descer os estores enquanto que as saídas digitais são: comando motores de gavetas cima e baixo, comando subir/descer estores, comando iluminação, comando registo de ventilador e comando ventiladores da gaveta. Já as entradas analógicas são: sensor de luminosidade, temperatura da conduta de ventilação, temperatura do radiador de entrada e retorno, temperatura da gaveta superior e inferior, anemómetro, piranómetros, temperatura do PV superior e inferior e, as saídas analógicas são: regulação da iluminação e regulação do registo de renovação ar-porta.

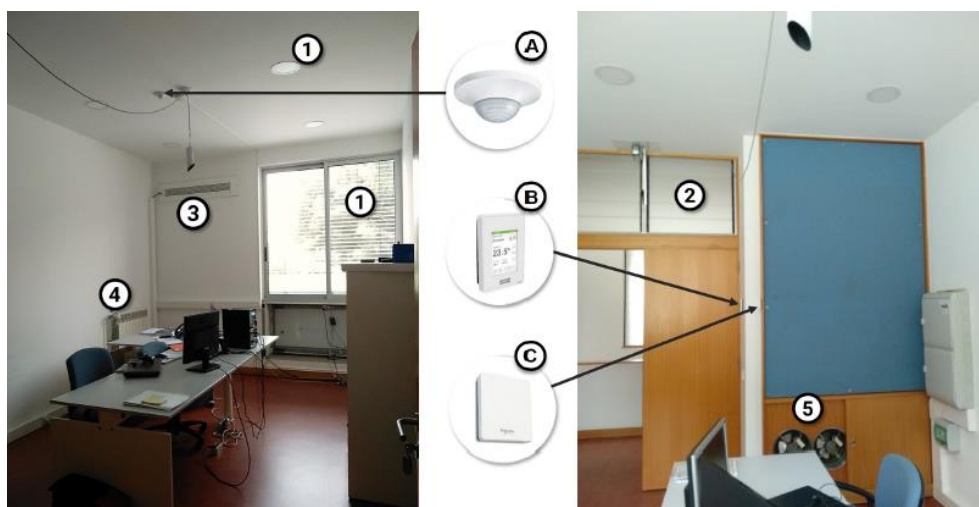


Figura 16: Sala de teste 2 com os principais sensores e sistemas técnicos. 1 – Sistema de sombreamento e iluminação artificial; 2 – Sistema de renovação de ar pelo registo da porta; 3 – Sistema de BIPV; 4 - Sistema de aquecimento; 5 - Sistema de arrefecimento passivo (tubos enterrados); A – Sensor de presença; B – Sensor de temperatura e humidade; C - Sensor de dióxido de carbono ^[14]

4. Monitorização

A monitorização do desempenho energético e térmico é realizado por meio de medidores inteligentes instalados no edifício e, com este novo sistema de monitorização mais pormenorizado poderá ser possível identificar os critérios de desempenho energético e térmico do edifício e validar o protocolo padrão de M&V dos NZEB. No caso de estudo do edifício Solar XXI é usada a abordagem de monitorização de todo o edifício, com base na medição do fluxo de energia para todo o edifício realizado através de equipamentos (gás e elétrico). Existe uma plataforma *Power Monitoring Expert*, onde é possível consultar os dados de monitorização. Para tal a empresa *Schneider Electric* implementou no Solar XXI uma infraestrutura de rede *ZigBee* e dispositivos *EnOcean*. Ambos são protocolos de comunicação usados para a monitorização e controlo do edifício.

O *ZigBee* é uma tecnologia de comunicação sem fio entre dispositivos eletrónicos projetada especificamente para redes de controlo e monitorização. É uma rede ‘*mesh*’ que permite comunicações bidirecionais sem fio entre comandos e controlos (por exemplo, entre o termostato e a caldeira) com um consumo de energia significativamente mais baixo já que possui uma taxa de dados centenas de vezes menor do que a Wi-Fi ^[15]. Numa rede ‘*mesh*’ a informação é repetida sucessivamente entre vários dispositivos da rede até atingir o objetivo ^[16]. Esta rede contém vários pontos/nós que recebem dados e que funcionam como retransmissores da informação sem existir a necessidade de uma ligação elétrica entre estes ^[16]. Os nós comportam-se como uma grande e única rede pelo que um utilizador pode conectar-se a um nó e reencaminhar os dados até o nó final utilizando os outros pontos da rede. Como a informação pode percorrer diversos caminhos de um nó para outro, esta rede é resiliente a falhas, contudo tem um elevado custo ^[16]. A possibilidade de diversas rotas de fluxos de dados permite selecionar o caminho mais eficiente a seguir de acordo com determinados parâmetros como velocidade e menor perda de dados ^[16]. No entanto, o desempenho da rede é inferior devido ao excesso de informação sobre as possíveis rotas e pacote de dados. Apesar de não existir uma limitação sobre o número de saltos possíveis nesta rede, o desempenho vai perdendo a qualidade à medida que o número de saltos entre nós vai aumentando ^[16]. Como a rede *ZigBee* é sem fios, os custos de instalação e manutenção são substancialmente inferiores e, já que o consumo de energia é reduzido, os dispositivos têm um tempo de vida mais longo dispensando a utilização de baterias ou necessitando apenas de baterias de pequena dimensão que duram mais tempo (100 a 1 000 dias) ^[15]. O fluxo de dados é lento, cerca de 20 a 250 KB/s ^[15], porém os dispositivos conseguem transmitir dados através de portas, paredes e pisos. A rede *ZigBee* é uma tecnologia fiável amplamente usada para controlo sem fios e aplicações de monitorização com vantagens económicas e ecológicas.

Já os dispositivos baseados no protocolo de comunicação aberta *EnOcean* são de curto alcance e não precisam de uma fonte de alimentação já que geram a energia elétrica necessária para funcionar no movimento mecânico de clicar o interruptor ^[17]. Os dispositivos *EnOcean* recorrem a conversores eletromagnéticos para converter a energia mecânica em energia elétrica utilizável ^[18]. Deste modo, estes equipamentos consomem pouco e permitem poupar muita energia. Como a tecnologia é sem fio, os custos de instalação e manutenção são reduzidos e, sensores sem baterias podem comunicar entre si, com controladores, interruptores e *gateways* num alcance de 30 metros ^[18]. As principais aplicações são a iluminação (interruptores de luz, sensores de ocupação) e a climatização (sensores de temperatura, humidade e dióxido de carbono) ^[18]. Estes equipamentos permitem otimizar o uso de energia sem afetar o conforto, com controlo eficiente segundo a ocupação e outros parâmetros relevantes.

No caso de estudo de salas de testes do edifício Solar XXI é utilizada a abordagem de “submedição”, em que as medições do uso isolado de energia de componentes/sistemas são recolhidas por meio de um equipamento mais caro e dedicado. Nestas salas de teste, parâmetros como temperatura, humidade relativa, luminosidade, entre outros são medidos para avaliar o nível de conforto dos ocupantes e identificar problemas de funcionamento.

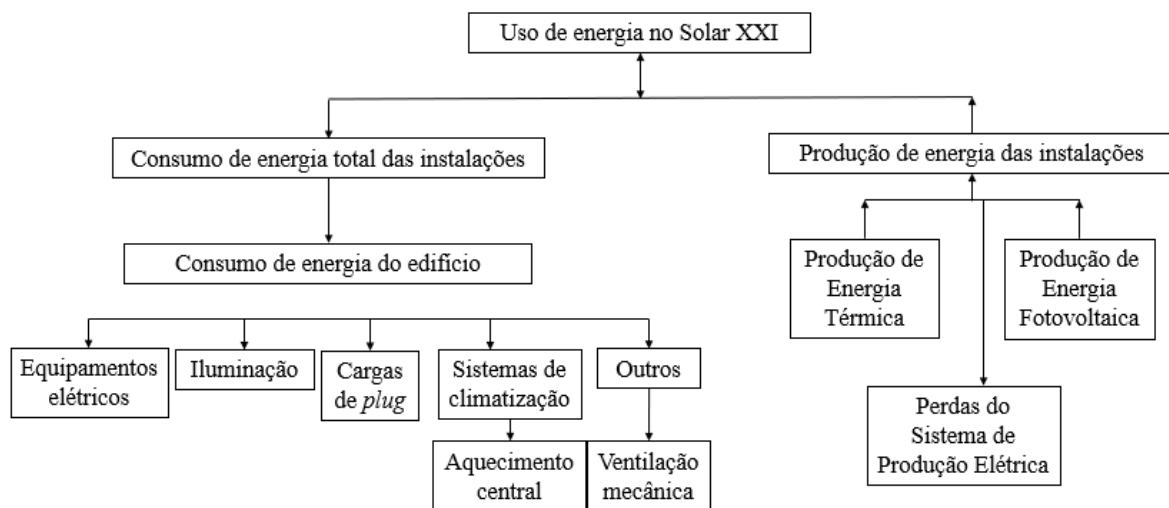


Figura 17: Diagrama de métricas de desempenho energético relacionado com o Solar XXI

Na [Figura 17](#) é possível verificar como a energia é utilizada no edifício Solar XXI de forma simplificada, quais são os sistemas de produção de energia renovável local e quais são as cargas que consomem energia. A produção local consiste na geração térmica pelos coletores solares instalados na cobertura do edifício e na geração elétrica pelos painéis fotovoltaicos existentes na fachada do edifício e no parque de estacionamento. A energia produzida pelo edifício é entregue a uma infraestrutura de energia local existindo algumas perdas energéticas. Já o consumo energético do edifício deve-se principalmente aos equipamentos elétricos existentes, à iluminação instalada, à climatização do ambiente baseada no aquecimento, as cargas de *plug* como tomadas e outros consumos que consistem na ventilação mecânica, que apresenta um consumo residencial e esporádico no verão. Deste modo, a monitorização do Solar XXI analisa a interação energética existente entre a infraestrutura de energia e o edifício e, avalia o desempenho energético do Solar XXI através do consumo e produção.

4.1. Edifício Solar XXI

Na [Figura 18](#) observa-se um diagrama de monitorização acessível da rede energética do Solar XXI. É uma ilustração do ponto de vista físico dos sistemas de energia instalados no edifício e os fluxos energéticos existentes entre os sistemas. A única FER utilizada no Solar XXI é a radiação solar incidente nos painéis fotovoltaicos e nos coletores solares sendo que esta radiação é medida pelos piranómetros instalados recentemente nos painéis da fachada e nos existentes na estação meteorológica da cobertura. Os painéis fotovoltaicos da fachada Sul do edifício e do parque de estacionamento produzem eletricidade de origem renovável e, posteriormente, esta eletricidade produzida pelo edifício é exportada para uma infraestrutura de energia externa representada pela caixa amarela. Já os coletores solares da cobertura geram energia térmica de origem renovável que é aproveitado unicamente pelo sistema de aquecimento do edifício. O calor gerado pelos BIPVT é aproveitado diretamente pelas salas/gabinetes orientados a Sul e associados a um painel fotovoltaico. Quando existe procura elétrica, o edifício importa eletricidade da infraestrutura de energia externa cujo fluxo está representado pela seta azul de modo que esta eletricidade importada suprime as necessidades elétricas existentes. Para simplificar o diagrama só foram ilustrados os usos finais de energia relevantes no edifício, por isso o consumo elétrico deriva essencialmente de equipamentos elétricos, iluminação, ventilação e outras cargas não diferenciadas. O único combustível que o edifício importa da infraestrutura externa é o gás natural que juntamente com a energia térmica, produzida pelos coletores, é usado na central térmica do edifício para aquecer a água da caldeira. Esta água aquecida é distribuída pelo edifício e aquece as divisões através dos radiadores existentes nestas. Existe um sumidouro geral para representar as perdas de calor e perdas de energia associadas a conversões e distribuição, evitando tornar o diagrama complexo.

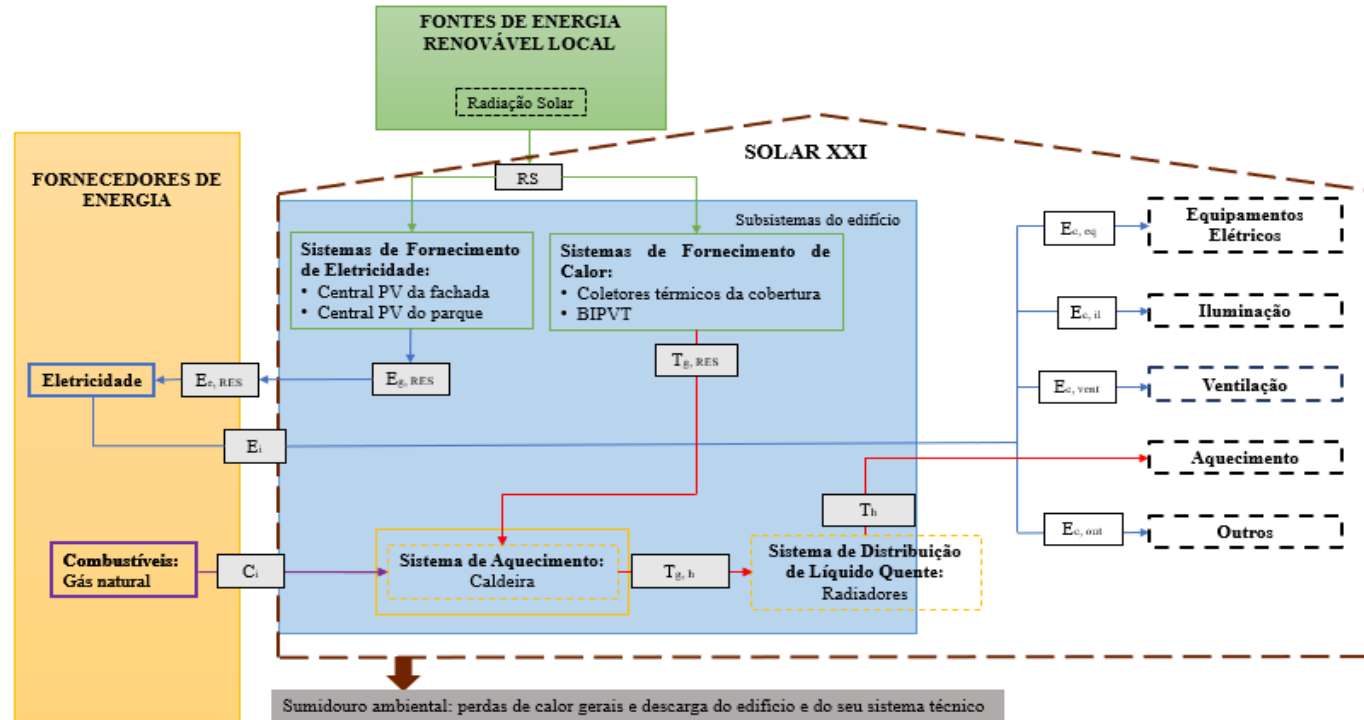


Figura 18: Diagrama de monitorização para o edifício de serviços Solar XXI

LEGENDA

	Transportadores de energia		Edifício/sala		Subsistema de produção de calor
	Fonte de energia renovável		Dissipador de energia		Condutas hidráulicas
	Subsistemas técnicos		Condutas de ventilação		Sumidouro ambiental
	Fluxos de eletricidade		Fluxos de combustível		Fluxos térmicos
	Fluxo de eletricidade medido		Fluxo de combustível medido		Fluxo térmico medido
	Fluxo de RES medido				
E	Eletricidade	e	Exportado	il	Iluminação
C	Combustível	i	Importado	h	Aquecimento
T	Energia Térmica	g	Gerado	vent	Ventilação
RS	Radiação Solar	c	Consumido	est	Estores Externos
RES	Sistema de Energia Renovável	eq	Equipamentos Elétricos	out	Outros

No piso -1 do Solar XXI existe um contador de água, um contador de gás e uma central térmica. Portanto, são realizadas as leituras de água comprada em volume e caudal e, do gás natural importado em volume, m^3 , e caudal, m^3/h . Já na central térmica está localizado o sistema de aquecimento central do edifício. Nesta central existe um sensor de inundação, um sensor de oxigénio, uma caldeira, bombas hidráulicas, depósito com válvulas e dois contadores entálpicos. O sensor de inundação deteta evasões de água e informa os utilizadores de modo a prevenir danos provocados pela água. O sensor de oxigénio monitoriza a concentração de oxigénio presente nos gases de combustão. É ainda medida a temperatura do ar de combustão e a temperatura do depósito. Um contador entálpico está localizado na caldeira e mede a contribuição de energia não renovável no aquecimento enquanto o outro contador está inserido no sistema solar térmico e avalia a contribuição de energia renovável no aquecimento do edifício.

No piso 0 onde se encontra a entrada do edifício estão dispostas divisões sendo que todas possuem um ou mais interruptores de luminárias *EnOcean*, uma consola *ZigBee* com respetivo sensor de temperatura e humidade e, um ou mais atuadores das válvulas dos radiadores. Os interruptores consistem no comando manual forçado que liga ou desliga as luminárias permanentemente. A consola demonstra a temperatura e humidade existentes na divisão recorrendo aos respetivos sensores. No visor tátil desta consola pode-se ligar e desligar os radiadores e, controlar os atuadores das válvulas definindo uma temperatura no visor da consola pelo que se tenta atingir essa temperatura pretendida regulando as válvulas dos radiadores presentes na sala. Das duas salas de reuniões existentes neste piso, é a sala a Nordeste que possui adicionalmente um botão mecânico manual que permite ligar e desligar diferentes zonas de iluminação da sala que são independentes umas das outras.

No piso 1 do Solar XXI todos as salas possuem um interruptor de luzes *EnOcean*, uma consola *ZigBee* associada a um sensor de temperatura e um sensor de humidade e, atuadores de válvulas. Todas as divisões do lado Sul (com ocupação permanente) possuem um conjunto de sensores de presença e sensor de luminosidade. Ambas as salas de reunião do lado Norte possuem um botão mecânico manual para ligar e desligar diferentes zonas de iluminação. Existem, ainda, interruptores dos ventiladores dos tubos enterrados (dentro do armário) em todas as divisões do lado Sul exceto nas salas de teste.

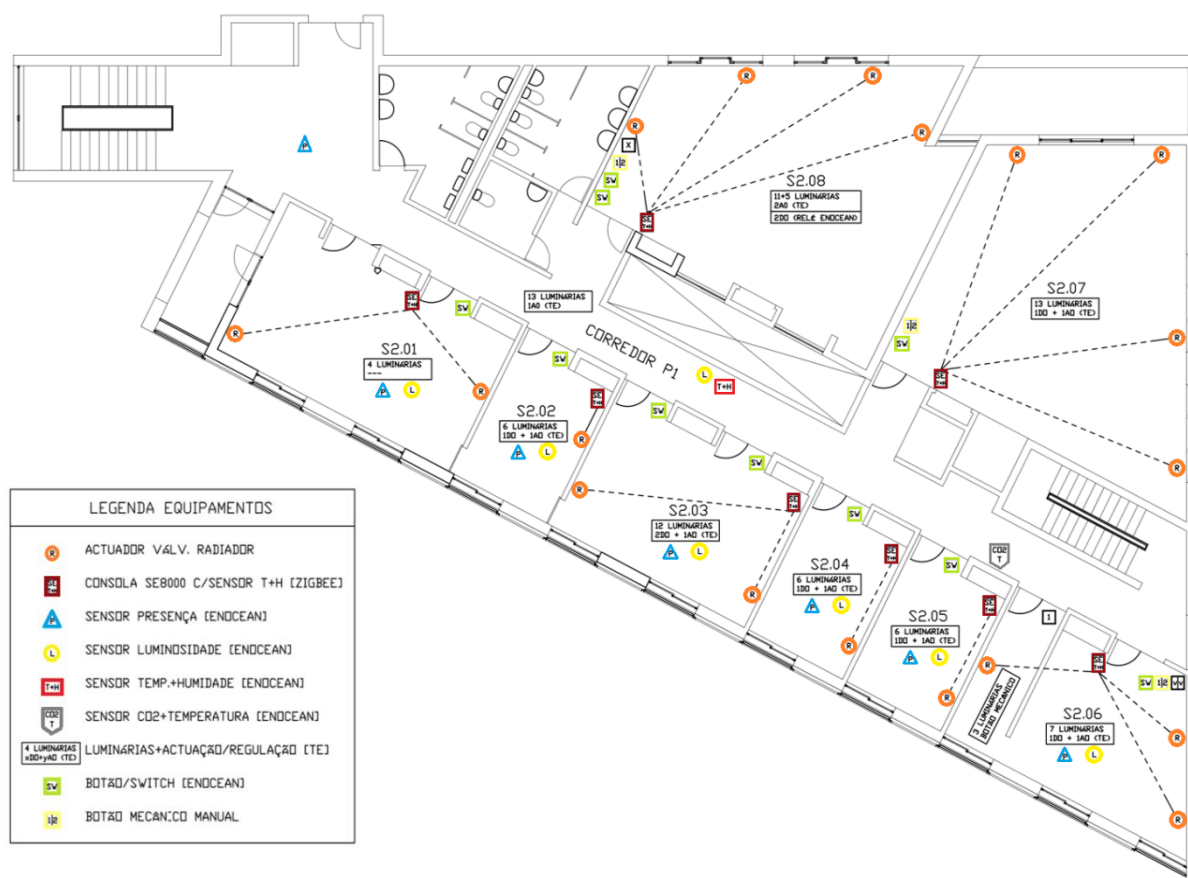
Os três pisos do Solar XXI possuem um sensor de presença no corredor para verificar a frequência de presença de pessoas, um sensor de temperatura e um sensor de humidade no meio do corredor e, um sensor de dióxido de carbono perto do final do corredor. Os sensores de temperatura nos três pisos permite verificar a estratificação vertical da temperatura ao longo do edifício. Já os pisos 0 e 1 contam ainda com um sensor de luminosidade no centro do corredor. Todas as fontes de iluminação artificial dos pisos 0 e 1 foram substituídas por luminárias LED mais eficientes e com luminosidade regulável. A iluminação do piso -1 não sofreu nenhuma atualização.

Na cobertura do edifício existe uma nova estação meteorológica que monitoriza a irradiância solar em Watt por metro quadrado, a humidade relativa em percentagem, a temperatura exterior em graus celsius, a velocidade do vento em metros por segundo e precipitação em percentagem. São ainda medidas as temperaturas dos coletores solares existentes na cobertura. Os coletores solares dispõem de cortinas protetoras para evitar sobreaquecimento. São verificadas as posições de cortinas instaladas para impedir a produção de energia térmica em períodos que não requerem aquecimento. São monitorizados o volume total de água em m^3 , o caudal em m^3/h , a eletrobomba solar, a temperatura da água na entrada e saída dos coletores, a potência em kW dos coletores e a energia solar térmica em kWh.

Na [Tabela 2](#) estão sumarizados os parâmetros monitorizados juntamente com o respetivo local e, na [Figura 19](#) é possível observar a localização dos sensores instalados.

Tabela 2: Parâmetros do edifício monitorizados

Monitorização	Parâmetros	Local
Conforto térmico (Aquecimento)	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura ambiente Humidade relativa Consumo associado ao sistema de climatização 	Corredores, salas de reuniões (Sul e Norte), gabinetes (Sul e Norte)
Qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ do ar ambiente 	Corredores
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> Níveis de iluminação Estado de presença Consumo associado à iluminação artificial 	Corredores, gabinetes (Sul)
Produção e Consumo	<ul style="list-style-type: none"> Produção de energia elétrica Produção de energia térmica Consumo de energia elétrica (geral e por piso) Consumo de gás natural 	Sistema fotovoltaico, sistema solar térmico, edifício geral e por piso, central térmica
Condições climáticas exteriores	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura Humidade Velocidade do vento Precipitação Radiação solar 	Cobertura do Solar XXI

Figura 19: Esquema dos equipamentos de monitorização instalados no edifício ^(f)^(f) Planta do edifício com os equipamentos instalados fornecida pela *Schneider Electric*

4.2. Salas de Teste

Na [Figura 20](#) nota-se um diagrama de monitorização acessível da rede energética de uma sala de teste. Verifica-se que o diagrama de uma sala de teste é muito semelhante ao edifício uma vez que os sistemas de produção renovável são os mesmos e os usos finais de energia relevantes são relativamente iguais. Em termos de consumo elétrico, a sala de teste diferencia-se do edifício em geral devido à ventilação e aos estores externos. Nas salas de teste houve a instalação de ventiladores para forçar a saída de ar arrefecido dos tubos enterrados, de ventiladores nas caixas de ar do BIPVT e as persianas das portas são automatizadas para renovar o ar da sala quando necessário. Já os estores externos manuais das salas de teste foram substituídos por estores externos motorizados que são comandados por um interruptor. Este interruptor permite descer, subir e orientar as lâminas dos estores.

Apesar do diagrama de monitorização da sala de teste ser muito parecido ao do edifício, a monitorização da sala de teste é mais pormenorizada e detalhada. No BIPVT das salas de teste são medidos os fluxos de ar, a temperatura da caixa de ar superior e inferior, a posição das válvulas da janela basculante e o fluxo da ventoinha. É monitorizada a velocidade do ar, a temperatura dos tubos, a válvula da conduta e o fluxo de ventilador de ar dos tubos enterrados. São monitorizados a válvula, o fluxo e a temperatura dos radiadores. Existem piranómetros na fachada para medir a radiação solar incidente, sensores de presença, de humidade, de temperatura, de luminosidade e de dióxido de carbono. Adicionalmente, o consumo elétrico das salas de teste é medido enquanto que o consumo do edifício é diferenciado por piso.

Os sistemas monitorizados das salas de teste são o ambiente, o BIPV, os tubos enterrados, o consumo elétrico e outros. Na parte do ambiente são monitorizados a irradiação solar incidente na fachada por piranómetros, a temperatura exterior, a ocupação pelo sensor de presença, o nível de iluminação pelo sensor de luminosidade, a temperatura do ar interior, a humidade relativa e o teor de dióxido de carbono pelos respetivos sensores. No BIPV são medidos os fluxos de ar das caixas por um anemómetro, a temperatura das caixas de ar superior e inferior pelas sondas de temperatura, a posição e inclinação da válvula da caixa de ar superior e inferior e, a ventilação forçada do BIPV por ventiladores. A velocidade do ar no interior das caixas do BIPV é um parâmetro importante da monitorização visto que esse espaço de ar entre a estrutura do edifício e os painéis fotovoltaicos é a componente mais dinâmica do BIPV. É através desses movimentos do ar que se transmite o calor. É ainda essencial medir a temperatura destas caixas de ar para verificar a eficiência do BIPV no aquecimento passivo da sala. Nos tubos enterrados são monitorizados a velocidade do ar forçado, a temperatura da conduta por uma sonda, a válvula da conduta e a ventilação do tubo por uma ventoinha na saída de ar fresco nas salas e a sua frequência. Quanto ao sistema elétrico são supervisionados a produção elétrica, o consumo elétrico por *plug-in*, o consumo de energia térmica para aquecimento, o consumo elétrico associado à iluminação. São ainda monitorizados a posição e inclinação dos estores externos, as persianas da porta, as válvulas do radiador, o fluxo métrico e a temperatura da água no radiador.

Na [Tabela 3](#) e [Figura 21](#) podem ser conferidos os parâmetros monitorizados, os sensores usados e a sua localização nas salas de teste.

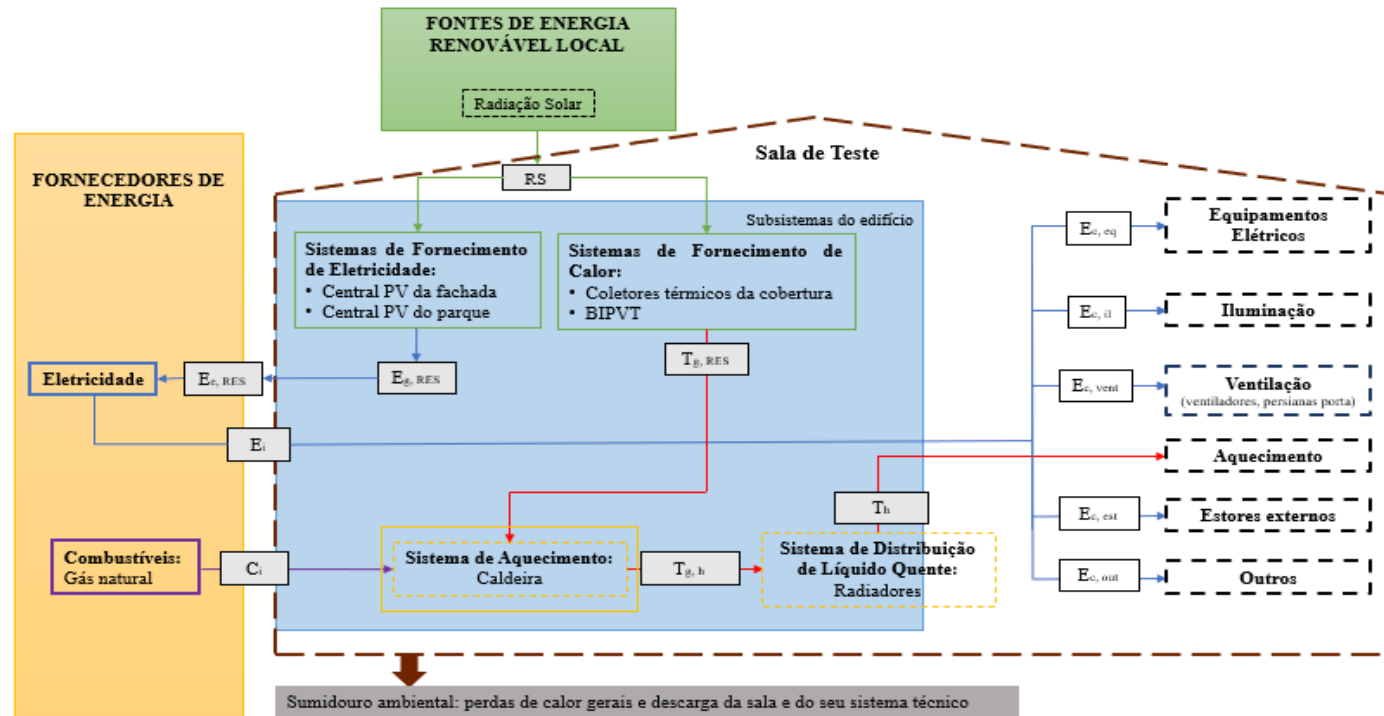


Figura 20: Diagrama de monitorização para a sala de teste

LEGENDA

	Transportadores de energia		Edifício/sala		Subsistema de produção de calor
	Fonte de energia renovável		Dissipador de energia		Condutas hidráulicas
	Subsistemas técnicos		Condutas de ventilação		Sumidouro ambiental
	Fluxos de eletricidade		Fluxos de combustível		Fluxos térmicos
	Fluxo de eletricidade medido		Fluxo de combustível medido		Fluxo térmico medido
	Fluxo de RES medido				
E	Eletricidade	e	Exportado	il	Iluminação
C	Combustível	i	Importado	h	Aquecimento
T	Energia Térmica	g	Gerado	vent	Ventilação
RS	Radiação Solar	c	Consumido	est	Estores Externos
RES	Sistema de Energia Renovável	eq	Equipamentos Elétricos	out	Outros

Tabela 3: Parâmetros das salas de teste monitorizados

Monitorização	Parâmetros	Local/sistema
Conforto térmico (Aquecimento)	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura ambiente Humidade relativa 	Salas de teste
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura da caixa de ar superior e inferior Temperatura superior e inferior Velocidade do ar interior na caixa de ar 	BIPV
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura da água na entrada e saída Volume total de água Caudal de água 	Radiadores
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura 	Tubos enterrados
	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura exterior Radiação solar incidente na fachada 	Fachada exterior
	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energia térmica 	Salas de teste
Qualidade do ar	<ul style="list-style-type: none"> Concentração de CO₂ do ar ambiente Fluxos de calor condutivos do BIPV Ventilação forçada das caixas de ar do BIPV Ventilação forçada do ar dos tubos enterrados Frequência dos ventiladores dos tubos enterrados Ventilação natural da sala pelas persianas da porta 	Salas de teste
Iluminação	<ul style="list-style-type: none"> Níveis de iluminação Estado de presença 	Salas de teste
	<ul style="list-style-type: none"> Consumo associado à iluminação artificial 	
Produção e Consumo	<ul style="list-style-type: none"> Produção de energia elétrica (painéis adjacentes) Consumo de energia elétrica (tomadas) 	Salas de teste



Figura 21: Esquema dos equipamentos de monitorização instalados nas salas de teste

4.3. Equipamentos instalados

A monitorização do edifício e das salas de teste requereu a instalação de sensores e outros dispositivos. Estes conseguem providenciar a informação necessária sobre determinados parâmetros que foram considerados relevantes. A empresa *Schneider Electric* ficou responsável pela instalação de equipamentos elétricos produzidos pela mesma. Na [Tabela 4](#) estão expostos os equipamentos de monitorização presentes no Solar XXI.

Tabela 4: Equipamentos de monitorização instalados no edifício e salas de teste ^(g)

	Contador de água (modelo A9XMZA08) O contador de água, existente no Solar XXI, lê os impulsos de água comprada e manda a informação para este equipamento que totaliza a contagem de água.
	Contador de gás (modelo A9XMWA20) Este equipamento totaliza a contagem de gás, medido em impulsos por um contador já existente no Solar XXI.
	Sensor de inundação (MGU3.713.18) Em situações de inundação existentes na central térmica, este sensor consegue detetar e alertar os ocupantes.
	Sensor de %O₂ (modelo OXY-FLEX-1-H) A concentração de oxigénio pode ser medida por este sensor compacto. A sua tensão de alimentação é 24V (DC) e a corrente de alimentação é 500mA. Consegue operar no intervalo de temperatura de -10°C a 85°C. O seu tempo de resposta é inferior a 15 segundos.
	Contador de entalpia (modelo MHCAGTRLM000) Este equipamento é usado para a medição do aquecimento da água com temperaturas do fluxo entre 15°C e 130°C. O fluxo medido deve estar entre 1,5 m ³ /h e 100 m ³ /h. A sua tensão de alimentação é de 24V (AC). Este contador consegue calcular energia a partir do volume da água, da diferença de temperatura medida e o coeficiente térmico da água.
	Sensor de presença (modelo MTN5510-1419) Com um ângulo de deteção horizontal de 0° a 360°, este sensor consegue reconhecer uma presença a 7 metros de distância. O dispositivo deve ser montado no teto a uma altura de cerca de 2,5 metros. A sua resposta pode ter um atraso de 10 segundos a 30 minutos.
	Sensor de luminosidade (modelo LSS10020053) Este sensor consegue medir o nível de iluminação existente no interior de uma divisão. O seu funcionamento depende uma célula solar e, o seu tempo de carregamento é cerca de 5 minutos a 250 lux. Consegue transmitir informação a um raio de 30 metros com paredes e 300 metros sem paredes.
	Sensor de temperatura e humidade (modelo LSS10020041) Este sensor é usado para medir temperaturas entre 0°C e 40°C, com um de erro de ±0,5°C e, humidade relativa entre 5 e 100%, com um de erro de ±5%. Funciona a uma célula solar com mais de 100 lux médio por dia.

^(g) Informações retiradas das fichas técnicas dos equipamentos fornecidas pela *Schneider Electric*



Consola (modelo SE8650U0B11)

Esta consola está equipada com um termistor e um sensor da humidade relativa do espaço. A medição da temperatura tem um erro de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e a medição da humidade relativa tem um erro de $\pm 5\%$. Para além de medição, esta consola consegue comunicar com o radiador de modo que este é regulado. Assim, a divisão aquece até a temperatura indicada no visor da consola. Para tal, este equipamento usa um protocolo de comunicação *ModBus* e *BACnet*.



Sensor de dióxido de carbono (modelo SED-CO2-G-5045)

Para além de averiguar o nível de CO_2 numa divisão, está equipado adicionalmente com um sensor de temperatura e de humidade. Pode detetar 0 a 5000ppm de CO_2 com uma precisão de 60ppm. Recorre à tecnologia infravermelha e o seu tempo de resposta é de 2,5 minutos. Utiliza o protocolo de comunicação *ZigBee*.



Sonda de temperatura (BIPV) (modelo PT100, referência 923736)

Esta sonda consegue medir temperaturas entre -50°C e cerca de 400°C . O cabo possui um comprimento de 2 metros enquanto que a sonda em si tem 50 milímetros. O diâmetro da sonda é de 5 milímetros e é feita de aço inoxidável.



Piranómetro (modelo PR5334A)

Este equipamento consegue realizar uma medição linear da temperatura com um sensor termoeletrico par. Pode converter os sinais de saída de mV para intervalos de 4 a 20mA. Tem um diâmetro de 40mm e pesa cerca de 50 gramas. O seu tempo de resposta é de 1 a 60 segundos.



Anenómetro (modelo HD29371TO3)

Este equipamento é usado para medir a velocidade do ar em m/s. O sinal de saída é entre 0 e 10V. O comprimento da sonda é de 380mm. Pode medir velocidades de 0,05 a 1 ou 20m/s. As medições realizadas até 2m/s têm um erro de mais ou menos 0,04m/s, contudo medições de 2m/s até 20m/s possuem um erro de mais ou menos 0,2m/s. O tempo de resposta rápido é de 0,2 segundos e o lento é de 2 segundos.



Sonda de temperatura (Tubos enterrados) (modelo PT 100, referência WZP-PT100)

Este sensor é à prova de água com blindagem externa isolada e isolamento interno de fibra de vidro. O cabo tem um comprimento de 49cm e, a sonda possui 3cm de comprimento e 4mm de diâmetro. O intervalo de temperatura medida é -20°C a cerca de 450°C . Permite verificar a diferença de temperatura entre o interior do edifício e o ar da conduta vindo do exterior.



Caudalímetro (radiador) (modelo SEN-HZ21WB)

Este sensor mede o caudal de água quente que é distribuída pelos radiadores para aquecimento das salas. Tem uma tensão nominal de 5V (DC) e corrente nominal igual ou inferior a 10mA. O resistor isolado tem uma resistência superior a 100mΩ. Consegue operar até 30L/min de água e com a pressão de água inferior a 1,75MPa.



Sonda de temperatura (radiador) (modelo PT100, artigo 0625 0516-100)

Este sensor de temperatura tem uma sonda de alumínio com diâmetro de 15mm e comprimento de 20mm. O cabo de ligação PVC/PVC tem um diâmetro exterior de 4,2mm e comprimento de 200mm incluindo extremidades não isoladas. Mede temperaturas de -10°C a 105°C .



Medidor de energia (Modelo A9MEM3155)

Este dispositivo consegue medir energia ativa e reativa, potência ativa e reativa, corrente e tensão. A sua tensão nominal pode variar entre os 100 e 277V ou entre os 173 a 480V. Já a sua corrente nominal é 63A. O seu limite de medição máximo é cerca de 99999999,9 kWh. A frequência da rede é 50 ou 60 Hz. Possui uma entrada digital e uma saída digital. O seu protocolo de comunicação é *ModBus*.

4.4. Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados

A empresa *Schneider* forneceu o *Power Monitoring Expert*, um *software* de gestão de energia personalizável que recolhe e processa os dados reunidos a partir da rede elétrica do edifício e apresenta-os numa interface *web* simples e fácil de usar. Este Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) supervisiona e permite visualizar em tempo real todos os parâmetros monitorizados que são atualizados de 15 em 15 minutos e gravados infindavelmente. O *Power Monitoring Expert* demonstra tendências e dados históricos sendo que os valores atuais de um dado parâmetro podem ser comparados com valores anteriores e analisar a evolução desse parâmetro monitorizado. Os eventos são sequenciados e o *software* permite investigar a origem da causa. Este SCADA possibilita gerar e obter relatórios padrão simplificados ou mais complexos que podem ser usados para analisar o consumo e produção. Os relatórios podem ser exportados como ficheiros PDF, documentos Excel ou ficheiros de imagens *Tiff*. Todos os dados, gráficos e registos podem ser exportados em formato editável (CSV). Pode-se criar eventos ou alarmes que notificam os utilizadores caso um dado parâmetro atinja e/ou ultrapasse um limite estabelecido. Todos os equipamentos de monitorização como os sensores são estudados no *Power Monitoring Expert* e, é realizada uma manutenção proativa destes equipamentos. Pode-se verificar a gestão energética do edifício em geral, contudo também se pode monitorizar mais pormenorizadamente as salas de teste que contam com mais sensores e outros equipamentos de medição.

Os tipos de gráficos possíveis de utilizar para representar os dados são gráfico de barras, gráfico de comparação com barras, gráfico circular, tabela, gráfico de tendências e equivalências de energia. Todas as variáveis podem ser personalizadas por cores e tipos de representação como colunas, linhas e pontos. Existe, adicionalmente, a opção de verificar tendências de variáveis como potências, que se atualizam de 5 em 5 segundos. Os relatórios gerados podem demonstrar dados mais antigos e de forma mais detalhada de consumo, produção, custos, lucros e desempenho energético. Trata-se, portanto, de uma ferramenta útil e simples de monitorização que possibilita supervisionar o comportamento energético do edifício em detalhe.

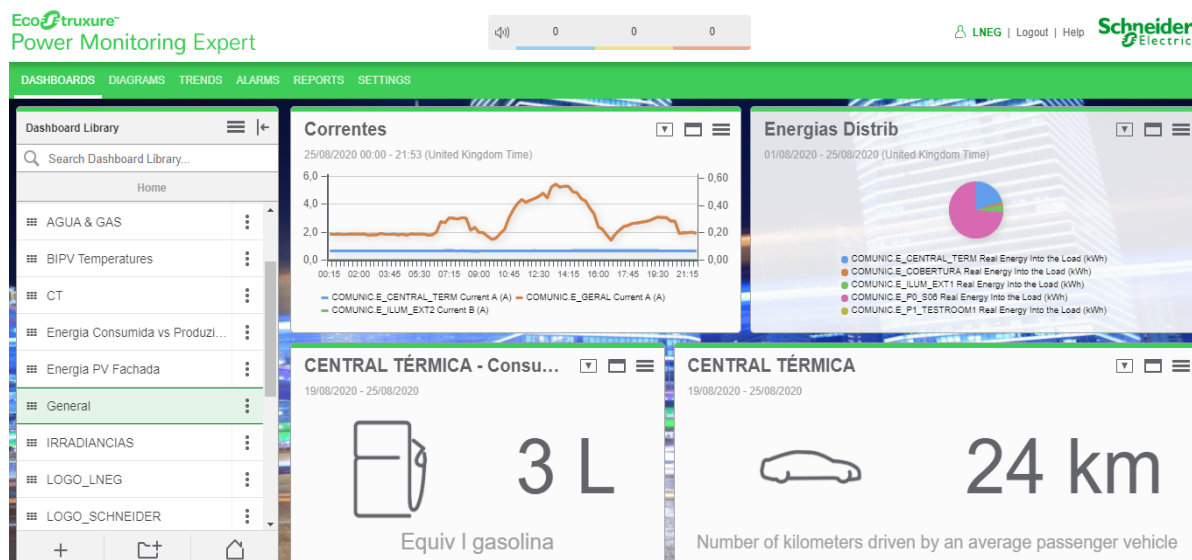


Figura 22: Interface do Power Monitoring Expert com dados referentes ao Solar XXI

Os resultados obtidos pela monitorização do Solar XXI encontram-se no Capítulo 9, onde se pode verificar os critérios relevantes para o desempenho energético e térmico deste edifício. Averiguou-se que o consumo elétrico, a produção elétrica, o consumo de gás natural e a produção de energia térmica são os parâmetros relevantes para o desempenho energético do edifício Solar XXI sendo que o consumo de gás natural e a produção térmica são pertinentes para o desempenho térmico.

5. Automatização

Alguns sistemas técnicos do edifício Solar XXI foram preparados para a automatização. O objetivo principal é a redução dos consumos existentes (ainda que apresentem valores baixos), mas também a análise sobre como o edifício reage conforme o comportamento dos utilizadores, valores definidos de determinados parâmetros e agendamento. Os equipamentos de monitorização medem os parâmetros relevantes para os utilizadores sendo que esta informação passa pelo controlador, que verifica se os parâmetros medidos cumprem as condições definidas pelos utilizadores. Foram desenvolvidos algoritmos de automação com base no conhecimento do comportamento do edifício através da monitorização contínua do mesmo desde a sua construção em 2006. Os modelos de controlo propostos serão avaliados pela folha de cálculo SRI para quantificar a sua capacidade de resposta às necessidades do edifício, dos ocupantes e da rede. Estes algoritmos são os responsáveis pela verificação das condições definidas e as tarefas a realizar para cada cenário. Caso as condições estejam dentro dos limites estabelecidos, não é necessária nenhuma atuação. Caso contrário, o controlador encaminha comandos aos atuadores para estes procederem de tal modo que, passado um intervalo de tempo razoável após a atuação, os parâmetros medidos passem a respeitar as condições definidas. Deste modo, os equipamentos passam a realizar automaticamente tarefas que dependiam dos ocupantes e estes já não precisam de efetuar essas tarefas manualmente. Isto permite economizar tempo e recursos, facilitar o quotidiano das pessoas e aumentar a eficiência dos serviços. Para tal, os equipamentos do Solar XXI estão interligados na mesma rede de comunicação *ModBus*. No entanto, ainda existe a possibilidade de operação em modo manual em cada sistema integrado, no edifício e nas salas de teste.

O protocolo *ModBus* é um protocolo industrial de comunicação bastante usado para sistemas de automatização e, é a solução de rede mais barata a ser utilizada para automatização^[19]. É um protocolo muito seguro e amplamente testado para controladores lógicos programáveis (PLC) para aquisição de sinais de equipamentos e encaminhamento de comandos para atuadores^[19]. Trata-se de um modelo de comunicação tipo mestre/escravo ou cliente/servidor. A estação mestre, por exemplo um PLC, envia ordens aos escravos que são só módulos de entrada e saída de dados. Logo, nenhum escravo pode iniciar qualquer tipo de comunicação sem ser solicitado pelo mestre. Os escravos podem receber dados medidos pelos equipamentos de monitorização e enviar essa informação pedida para o mestre ou o mestre pode incumbir uma tarefa a um escravo e este envia sinais de saída para controlo de atuadores e/ou controladores. O *ModBus* é um protocolo que consente dados discretos (entradas e saídas digitais) tal como aceita dados numéricos (entradas e saídas analógicas). A maior diferença entre estes sinais é que os sinais analógicos variam entre 0 e 10V, podendo assumir infinitos valores dentro deste intervalo, enquanto que os sinais digitais assumem valores discretos como 0 ou 1. Os sinais analógicos são mais indicados para equipamentos reguláveis como lâmpadas. Já os sinais digitais são menos complexos, mais precisos e necessitam de menos tempo de processamento por parte dos dispositivos.

As salas de teste foram as divisões que sofreram uma maior automatização sendo que todos os seus sistemas técnicos são automáticos ou preparados para estar. O conforto dos ocupantes é valorizado com sensores que otimizam o uso de energia conforme as atividades desses ocupantes e, é possível controlar completamente as salas de teste com os equipamentos instalados. Assim, estas salas de teste passam a ser mais práticas e cómodas, promovendo o conforto para os ocupantes. No entanto, a automatização possibilita, igualmente, economizar energia de uma forma simples e rápida já que os serviços que consomem mais energia são desligados automaticamente na ausência de ocupação. Logo, não existe desperdício de energia no caso das situações frequentes em que as pessoas se esquecem de desligar as luzes e/ou outros equipamentos. Deste modo, estas duas salas de teste promovem maior sustentabilidade do que outras salas equivalentes. Porém, no caso de estudo das salas de teste será estudada a viabilidade

da automatização de todos os sistemas técnicos, verificando se esta automatização gera poupanças energéticas e económicas significativas que justifiquem este investimento.

5.1. Edifício

No edifício Solar XXI houve a automatização de três sistemas técnicos importantes: as aberturas, o aquecimento geral e a iluminação artificial. As aberturas do edifício foram mecanizadas para existir ventilação natural forçada, todos os radiadores do edifício foram modificados de maneira a existir um maior controlo sobre o aquecimento e, como referido anteriormente, a iluminação artificial sofreu atualizações. Como a iluminação e a climatização de um edifício são dois dos setores que mais consomem energia, a automatização destes sistemas acarreta tanto benefícios energéticos como económicos. O consumo de energia derivado destes setores sofre uma redução uma vez que os desperdícios energéticos originados pela má prática e/ou falha humana são diminuídos ou até mesmo eliminados. Por conseguinte, os sistemas técnicos são mais eficientes e já não é despendida energia que não é estritamente necessária para providenciar serviços imprescindíveis para os ocupantes. Caso os algoritmos de controlo forem projetados adequadamente e se os valores de referência para a automatização forem corretamente ajustados, existe uma poupança energética considerável no edifício.

5.1.1. Aberturas motorizadas

Existem três aberturas do edifício que foram automatizadas: a abertura poente, a abertura nascente e a abertura central/claraboia. Apesar da gestão deste sistema, se houver uma indicação de uma central de incêndio ou necessidade de desenfumagem, esta ordem sobrepõe-se a qualquer comando. Existe um parâmetro designado de Índice Temperatura Humidade que cuja fórmula é exposta a seguir:

$$THI = 0,8T + H_r(T - 14,4) + 46,4 \quad (5.1)$$

Na [Equação 5.1](#), o T representa a temperatura do bolbo seco cuja unidade é em graus celsius e o H_r representa a humidade relativa em proporção. Quanto maior for este índice, melhores são as condições de conforto dentro do edifício. Logo, é calculado o THI no interior do edifício e no exterior com os respetivos valores de temperatura e humidade e, caso a diferença entre estes dois índices calculados seja inferior a um dado valor definido, a abertura é promovida.

Os parâmetros do edifício, que são monitorizados e que têm impacto na automatização das aberturas, são a temperatura interior do edifício, a temperatura exterior, a humidade relativa interior, a humidade relativa exterior e a concentração de dióxido de carbono no edifício. Os parâmetros no interior do edifício são medidos pelos sensores mencionados anteriormente que se localizam nos corredores dos pisos. Já os parâmetros exteriores são medidos pelos sensores existentes na estação meteorológica da cobertura. As variáveis pertinentes para o controlo destas aberturas estão expostas na [Tabela 5](#).

Tabela 5: Variáveis de controlo das aberturas motorizadas

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Horário que viabiliza a operação automática das aberturas	SKYLIGHT.TIME	In/Out	Supervisão	-
Estado das aberturas motorizadas	SKYLIGHT.On/Off	On/Off	Equipamento	Aberto/fechado
Temperaturas exterior	EDIF.T _{Ext}	°C	Sonda de temperatura	-
Temperatura interior do edifício	EDIF.T _{Int}	°C	Sonda de temperatura	-
Humidade relativa exterior	EDIF.HR _{Ext}	%	Higrómetro	-

Humidade relativa interior do edifício	EDIF.HR _{Int}	%	Higrómetro	-
Concentração de CO ₂ no interior do edifício	EDIF.CO ₂ _{Int}	ppm	Sonda de CO ₂	-
Diferencial entre EDIF.T _{Int} e EDIF.T _{Ext}	EDIF.ΔT _{Ext}	°C	Calculado	-
Valor de EDIF.ΔT _{Ext} que viabiliza SKYLIGHT.On/Off = On	SKYLIGHT.ΔT _{SetPoint}	°C	Definido	-
Concentração máxima de CO ₂ admissível no interior	EDIF.CO ₂ _{MAX}	ppm	Definido	-
THI no interior do edifício	THI _{Int}	-	Calculado	-
THI no exterior	THI _{Ext}	-	Calculado	-
Diferencial entre THI _{Int} e THI _{Ext}	EDIF.ΔTHI	-	Calculado	-
Valor de EDIF.ΔTHI que SKYLIGHT.On/Off = On	SKYLIGHT.ΔTHI _{SetPoint}		Definido	-
Tempo mínimo de permanência SKYLIGHT.On/Off = On	SKYLIGHT.ON.T	Min	Definido	-
Tempo mínimo de permanência SKYLIGHT.On/Off = Off	SKYLIGHT.OFF.T	Min	Definido	-

A partir das variáveis definidas foi possível desenvolver um algoritmo de controlo para as aberturas automatizadas do Solar XXI de modo a que haja a renovação de ar imprescindível no edifício. No entanto, este algoritmo também respeita as condições necessárias para assegurar o conforto térmico dos ocupantes.

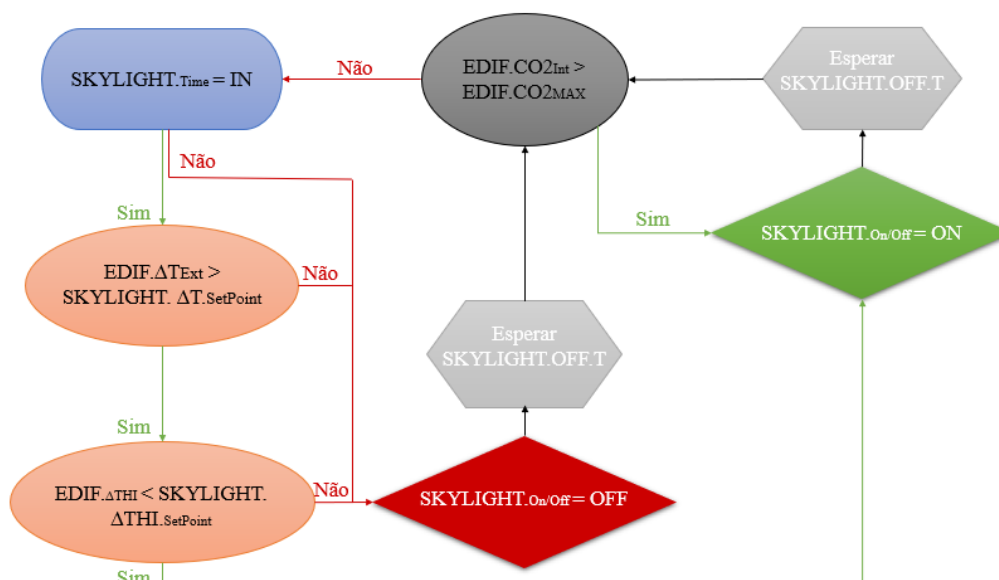


Figura 23: Algoritmo de controlo das aberturas motorizadas

Na Figura 23 observa-se o algoritmo que as aberturas automáticas devem cumprir. Pode-se começar por verificar se a concentração de dióxido de carbono no interior do edifício excede ou não a concentração máxima estipulada pelo operador. Se a concentração de dióxido de carbono no interior for maior, a abertura deve abrir-se automaticamente de modo a existir renovação de ar e atenuação da concentração de dióxido de carbono. Caso contrário, deve-se averiguar se o horário decretado pelo

utilizador permite a abertura automática. No caso da abertura não se encontrar calendarizada, esta deve permanecer fechada. Se a abertura estiver programada a abrir, então deve-se apurar o diferencial de temperatura. Caso a diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício for inferior a um valor estabelecido, a abertura deve permanecer fechada. Se a diferença de temperatura for superior ao valor determinado, deve-se analisar o diferencial entre o índice temperatura humidade do interior e do exterior do edifício. Quando este for superior ao valor definido pelo operador significa que existem condições de conforto que inviabilizam a abertura. Já no caso de o diferencial ser inferior, não existem condições de conforto no interior do edifício pelo que as aberturas devem ser acionadas. Sempre que as aberturas estiverem fechadas, passado o período estabelecido pelo operador, deve existir uma averiguação da concentração do dióxido de carbono. Isto ocorre igualmente com as aberturas desobstruídas já que passado o tempo indicado, o seguinte passo é verificar se a concentração de dióxido de carbono no interior do edifício é superior ou inferior ao estabelecido.

5.1.2. Central Térmica

Na central térmica do Solar XXI existem dois tipos de circuito: um circuito primário e um circuito secundário. O circuito primário engloba todo o sistema solar térmico e o permutador do depósito de acumulação. Já o circuito secundário abrange a caldeira, o circuito de distribuição de água quente e o depósito de acumulação. Como existam situações em que a produção de energia térmica não coincide com a necessidade dos ocupantes, o depósito de acumulação armazena a água quente até o seu consumo posterior.

O único parâmetro medido do edifício que é relevante para a automatização da central térmica é a temperatura interior de cada divisão. Caso essa temperatura seja superior ou igual à temperatura definida pelo utilizador, a central térmica permanece inativa. Caso contrário, a central opera de modo a existir aquecimento da divisão até que a temperatura interior medida seja igual à definida pelo ocupante.

5.1.2.1. Circuito primário

O circuito primário baseia-se no sistema de produção solar térmico. Os coletores solares produzem energia de forma contínua desde que haja radiação solar, contudo nos meses de verão não existe nenhum consumo térmico. Como a energia gerada pelos coletores não era aproveitada, existia desperdício energético. Complementarmente, existia sobreaquecimento dos coletores devido à radiação solar intensa nos meses de verão. Por estas razões houve a instalação de cortinas/persianas automatizadas nos coletores para evitar desperdício de energia e para conservar os equipamentos. As variáveis usadas no controlo do Circuito Primário estão apresentadas na [Tabela 6](#).

Tabela 6: Variáveis de controlo do Circuito Primário

Variável	Referência	Unidade	Origem
Temperatura da água à saída do grupo de coletores	T_{COL}	°C	Medido
Temperatura do depósito	T_{DEP}	°C	Medido
Diferencial entre T_{COL} e T_{DEP} que origina arranque da eletrobomba do circuito	ΔT_{ON}	°C	Definido
Diferencial entre T_{COL} e T_{DEP} que origina paragem da eletrobomba do circuito	ΔT_{OFF}	°C	Definido
Temperatura máxima admissível no depósito	$T_{DEP[MAX]}$	°C	Definido
Temperatura nos coletores que aciona o funcionamento da bomba para prevenir a congelação	$T_{COL[CONG-ON]}$	°C	Definido
Período máximo de funcionamento da eletrobomba após o início do funcionamento em função de $T_{COL[CONG-ON]}$	$P_{CONG[ON]}$	Min	Definido

Temperatura nos coletores que inibe o funcionamento da bomba após o arranque em função da $T_{\text{CONG[OFF]}}$	$T_{\text{COL[CONG-OFF]}}$	°C	Definido
Diferencial entre T_{DEP} e $T_{\text{DEP[MAX]}}$ que origina o arranque da eletrobomba após paragem por excesso de temperatura	$\Delta T_{\text{DEP[HIST]}}$	°C	Definido
Temperatura dos coletores que origina o fecho das cortinas térmicas	$T_{\text{COL[MAX]}}$	°C	Definido
Diferença entre T_{COL} e $T_{\text{COL[MAX]}}$ que origina a reabertura da cortina térmica	$\Delta T_{\text{COL [CORT-UP]}}$	°C	Definido
Diferença entre T_{DEP} e $T_{\text{DEP[MAX]}}$ que origina a reabertura da cortina térmica	$\Delta T_{\text{DEP[CORT-UP]}}$	°C	Definido
Temperatura mínima de operação do depósito	$T_{\text{DEP[CONG]}}$	°C	Definido

O algoritmo de controlo do circuito primário deve integrar:

- i. Controlo diferencial do circuito primário:
 - a. $T_{\text{COL}} - T_{\text{DEP}} \geq \Delta T_{\text{ON}} \Rightarrow$ Bomba ON (sempre que a diferença entre a temperatura da água à saída dos coletores e a temperatura do depósito for igual ou superior a um valor definido pelo utilizador, a bomba de circulação do circuito primário é ligada);
 - b. $T_{\text{COL}} - T_{\text{DEP}} \leq \Delta T_{\text{OFF}} \Rightarrow$ Bomba OFF (sempre que a diferença entre a temperatura da água à saída dos coletores e a temperatura do depósito for igual ou inferior a um valor definido pelo utilizador, a bomba de circulação do circuito primário é desligada).

NOTA: A T_{OFF} deve ser sempre inferior à T_{ON}
- ii. Controlo da temperatura máxima do depósito (segurança):
 - c. $T_{\text{DEP}} > T_{\text{DEP[MAX]}} \Rightarrow$ Bomba OFF (caso a temperatura do depósito for superior à temperatura máxima do depósito determinada pelo utilizador, a bomba de circulação do circuito primário é desligada);
 - d. $(a) \cap T_{\text{DEP[MAX]}} - T_{\text{DEP}} \leq \Delta T_{\text{DEP[HIST]}} \Rightarrow$ Bomba ON (caso a diferença entre a temperatura da máxima do depósito e a temperatura do depósito for igual ou inferior a um valor determinado pelo utilizador e se a condição da alínea a) for respeitada, a bomba de circulação do circuito primário é ligada).
- iii. Controlo anti-estagnação:
 - e. $T_{\text{COL}} \geq T_{\text{COL[MAX]}} \Rightarrow$ Cortinas DOWN (quando a temperatura da água à saída dos coletores for igual ou superior à temperatura máxima da água à saída dos coletores estipulada pelo utilizador, as cortinas térmicas dos coletores solares serão ativadas);
 - f. após (e) se $T_{\text{DEP}} - T_{\text{DEP[MAX]}} \geq \Delta T_{\text{DEP[CORT-UP]}} \Rightarrow$ Cortinas UP (quando a diferença entre a temperatura do depósito e a temperatura máxima do depósito for igual ou superior a um valor estipulado pelo utilizador, as cortinas térmicas dos coletores solares serão desativadas).
- iv. Controlo anti-congelamento:
 - g. $T_{\text{COL}} \leq T_{\text{COL[CONG-ON]}} \Rightarrow$ Bomba ON (se a temperatura da água à saída dos coletores for igual ou inferior à temperatura de segurança dos coletores indicada pelo utilizador, a bomba de circulação do circuito primário é ligada);
 - h. $T_{\text{COL}} \geq T_{\text{COL[CONG-OFF]}} \Rightarrow$ Bomba OFF (se a temperatura da água à saída dos coletores for igual ou superior à temperatura de segurança dos coletores indicada pelo utilizador, a bomba de circulação do circuito primário é desligada);

- i. $T_{\text{DEP}} \leq T_{\text{DEP[CONG]}} \Rightarrow$ (g) e (h) ignorados (se a temperatura do depósito for igual ou inferior à temperatura mínima do depósito indicada pelo utilizador, o controlo anti-congelação é desconsiderado).

Ainda não existe nenhuma rotina de controlo especificada pelo que a abordagem a seguir exposta é simplesmente um exemplo de como o controlo do circuito primário pode funcionar. Este controlo ilustrado na [Figura 24](#) alberga todas as funções descritas anteriormente. As funções apresentadas devem ser verificadas pelo controlador dependendo do estado de operação do circuito e de forma sequencial.

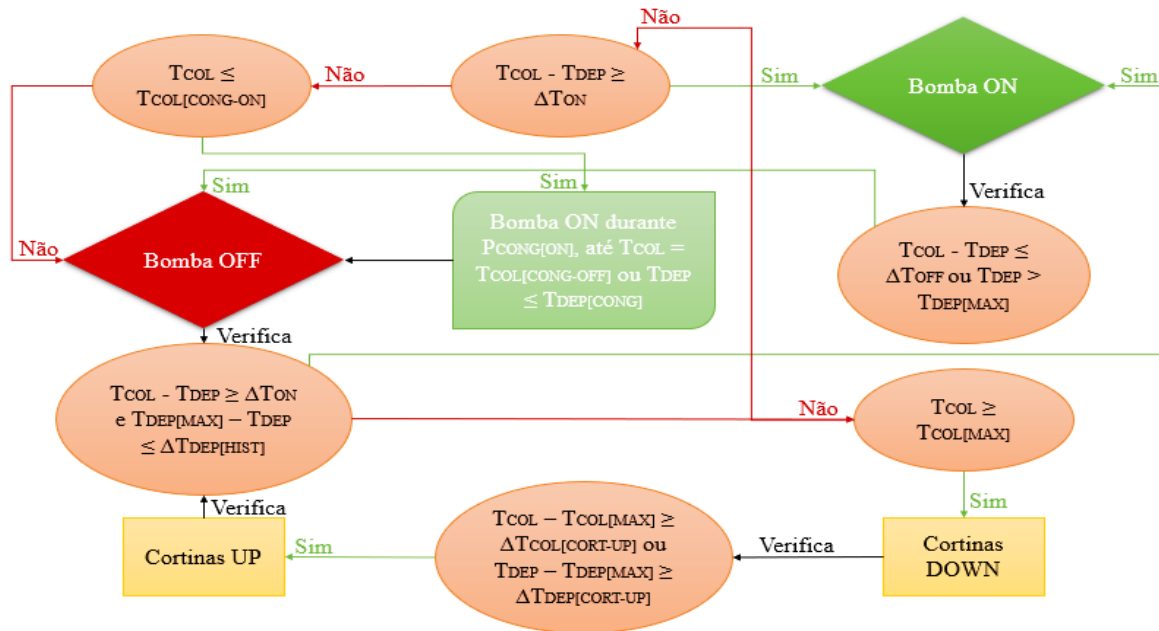


Figura 24: Algoritmo de controlo do Circuito Primário

O sistema de controlo poderá integrar:

- Um alarme sempre que a temperatura do depósito superar a temperatura máxima do depósito definida pelo utilizador ($T_{\text{DEP}} > T_{\text{DEP[MAX]}}$);
- Um calendário determinado pelo utilizador que viabilize a descida das cortinas térmicas nos períodos menos propícios à produção de energia térmica (períodos noturnos, meses de verão);
- Um controlo que permitirá descer as cortinas térmicas sempre que a velocidade do vento medida na cobertura superar um valor determinado pelo utilizador;
- Um controlo que permitirá subir as cortinas térmicas sempre que a velocidade do vento medida na cobertura for inferior ao valor determinado pelo utilizador, mas só se encontrar no período viável pelo calendário para a subida das cortinas térmicas (dia, inverno, meses de primavera, outono e inverno).

5.1.2.2. Circuito secundário

▪ Modo VERÃO

No Verão não existe fornecimento de energia aos radiadores pelo que as bombas dos circuitos estão sempre desligadas e as válvulas encontram-se fechadas. Neste modo existem duas possíveis configurações:

- Configuração “Solar com apoio”

Nesta configuração são definidas as seguintes variáveis de controlo: a temperatura do depósito medida em graus celsius (T_{DEP}); a temperatura do depósito que promove o arranque da caldeira

e da bomba, estabelecida pelo utilizador em graus celsius ($T_{DEP[Min]}$); a diferença estipulada pelo utilizador entre a temperatura do depósito, T_{DEP} , e a temperatura estipulada pelo utilizador, $T_{DEP[Min]}$, que fomenta a paragem da caldeira e da bomba ($\Delta T_{DEP[OFF]}$). Na [Figura 25](#) está exemplificado o controlo desta configuração. Se a temperatura do depósito for inferior à temperatura mínima definida, tanto a caldeira e a bomba são ligadas. Já quando a diferença entre a temperatura do depósito e a temperatura mínima iguala ou excede a temperatura que promove a suspensão, a bomba e a caldeira são desligadas. Como nos meses de verão a temperatura do depósito tem poucas probabilidades de ser inferior à temperatura mínima fixada, a caldeira e a bomba estão automaticamente desligadas sem ser necessária a intervenção humana.

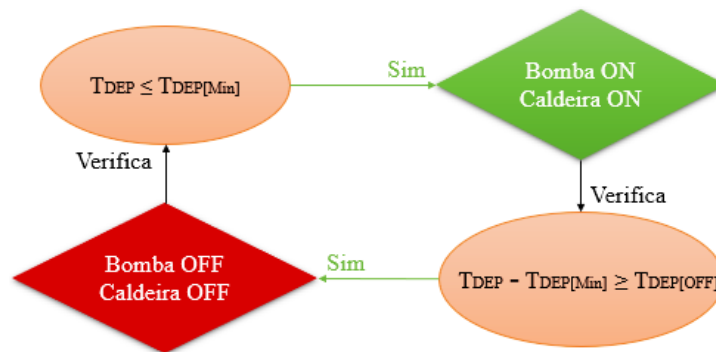


Figura 25: Algoritmo de controlo da Configuração “Solar com apoio” do modo Verão

➤ Configuração “Só Solar”

Nesta configuração não existe nenhum algoritmo adicional ao Algoritmo de Controlo do Circuito Primário. Neste ajuste a caldeira e a bomba estão sempre inoperacionais.

▪ **Modo INVERNO**

Nos meses de inverno existe maior procura de energia para aquecimento do edifício, porém é também neste período que existe menos radiação solar. A cobertura não possui espaço suficiente para instalar mais coletores solares uma vez que o edifício não é grande. Como a geração de calor pelo sistema solar térmico não é suficiente para cobrir as necessidades de aquecimento, é usada uma caldeira a gás natural como o sistema de apoio. O solar térmico tem prioridade no aquecimento, mas quando não consegue suprir a procura, a caldeira passa a ter um papel mais ativo. Geralmente, a água quente que sai da caldeira demora um período considerável para chegar aos radiadores de modo que nas primeiras horas do dia o arranque do aquecimento é pelo sistema solar. Logo, no inverno existem quatro configurações possíveis de controlo da caldeira:

➤ Configuração A (Solar + Caldeira)

A água usada para fins sanitários é aquecida somente pelo sistema solar térmico. A água utilizada no sistema de distribuição de calor é pré-aquecida pelos coletores e depois passa pela caldeira, onde é aquecida mais caso seja necessário. Neste arranjo a válvula de 3 vias está na posição DEPÓSITO, a válvula de *bypass* da caldeira encontra-se FECHADA, a válvula de linha depósito-caldeira está ABERTA e as bombas de circulação estão ON/OFF em função das necessidades de aquecimento de cada gabinete.

➤ Configuração B (Caldeira)

As AQS continuam a ser aquecidas só pelo sistema solar térmico. A água usada no sistema de distribuição de calor não chega a ser armazenada no depósito de acumulação já que entra diretamente na caldeira após ser aquecida pelos coletores. Nesta configuração a válvula de 3

vias está na posição CALDEIRA, a válvula de *bypass* da caldeira encontra-se FECHADA, a válvula de linha depósito-caldeira está FECHADA e, as bombas do circuito de aquecimento e de retorno estão ON/OFF consoante das necessidades de aquecimento de cada gabinete.

➤ Configuração C (Caldeira + AQS)

Nesta configuração, as AQS já são aquecidas pelo sistema solar térmico uma vez passam a ser aquecidas pela caldeira. A água utilizada no sistema de distribuição de calor entra diretamente na caldeira pelo que não passa pelo depósito de acumulação. Neste ajuste a válvula de 3 vias está na posição CALDEIRA, a válvula de *bypass* da caldeira encontra-se FECHADA, a válvula de linha depósito-caldeira está FECHADA, as bombas de retorno ao depósito estão OFF e, as bombas de circulação estão ON/OFF conforme as necessidades de aquecimento de cada gabinete ou se a temperatura do topo do depósito for inferior a um valor estabelecido pelo operador.

➤ Configuração D (Solar)

As AQS voltam a ser aquecidas unicamente pelo sistema solar térmico. A água aquecida pelos colares é enviada diretamente para o sistema de distribuição de calor, logo não chega a passar pela caldeira. Neste arranjo a válvula de 3 vias está na posição DEPÓSITO, a válvula de *bypass* da caldeira encontra-se ABERTA, a válvula de linha depósito-caldeira está FECHADA, as bombas de circulação estão ON/OFF de acordo com as necessidades de aquecimento de cada gabinete e a caldeira está desligada.

Modos de controlo:

- ❖ Controlo Manual: o utilizador tem a possibilidade de escolher uma das quatro configurações acima apresentadas (A, B, C e D) na estação de aquecimento. Pode ainda mobilizar, sem qualquer restrição, as diversas componentes mecanizadas do circuito secundário.
- ❖ Controlo Automático com operação pré-definida: o utilizador consegue escolher uma estratégia de operação do circuito secundário dentro de 3 estratégias pré-definidas. No entanto, esta opção só é possível de implementar num período já delimitado pelo operador. As 3 estratégias pré-definidas são a estratégia principal onde existe um algoritmo que permite automaticamente mudar a configuração de aquecimento (A, B, C ou D) a partir de diversas variáveis de controlo do circuito secundário; a estratégia “Solar ou Caldeira” que usa um algoritmo com as mesmas variáveis que permite recorrer às configurações B, C e D (sem a configuração A - Solar + Caldeira); e a estratégia “Solar e Caldeira” que também utiliza um algoritmo com as variáveis de controlo do circuito secundário já estabelecidas, contudo esta estratégia só permite as configurações A e D (sem configurações B - Caldeira e C - Caldeira + AQS).
- ❖ Controlo Automático com operação livre: o utilizador pode controlar o circuito secundário de forma bastante livre já que neste modo não existe nenhuma estratégia fixa ou um período de operação limitado. Neste modo, o sistema de controlo encontra-se aberto a futuras possibilidades de modificar e/ou acrescentar estratégias de operação do circuito secundário visto que não existe ainda um algoritmo otimizado suficientemente flexível ou abrangente para as diversas opções de controlo. No futuro poderão ser ainda desenvolvidas outras estratégias mais adequadas.

5.1.3. Iluminação artificial

As fontes de iluminação artificial do edifício Solar XXI foram substituídas por lâmpadas LED mais eficientes e capazes de regular a sua luminosidade. Estas fontes de iluminação são ainda capazes de ligar e desligar automaticamente consoante a presença de pessoas. A iluminação das salas a Sul depende principalmente do comando manual (botão *EnOcean*) que permite o funcionamento dentro do horário, o comando manual forçado que tem um comando ON/OFF permanente, os valores máximos e mínimos

para a regulação da iluminação e comando com sensor de presença (na opção de comando manual). A iluminação das salas a Norte depende de horário por sala, comando automático onde fora do horário desliga as luzes, comando manual e comando manual forçado.

Tabela 7: Variáveis de controlo da Iluminação Artificial

Na Figura 26 está ilustrado o algoritmo de controlo da iluminação artificial do edifício. Sempre que o sensor de presença detete ocupação, deve ser apurado se a iluminância medida no edifício é superior ou inferior à iluminância definida pelo utilizador. Sempre que a iluminância seja superior à estabelecida, os dispositivos de iluminação artificial permanecem desligados. Já quando a iluminância for inferior, as luminárias são ligadas na potência estabelecida pelo passo seguinte. Este passo é verificar se a iluminância do edifício é inferior à iluminância mínima indicada pelo utilizador. Se esta condição for validada, a potência da lâmpada aumenta um nível. No caso contrário, é averiguado se o sensor ainda deteta presença ou não. Sempre que o nível de luminosidade é aumentado, a etapa seguinte é investigar se a iluminância do edifício é superior à iluminância máxima estipulada pelo utilizador. Quando esta situação é confirmada, a potência da lâmpada diminui um nível. Caso a condição não seja comprovada, volta-se à verificação do sensor de presença e o procedimento repete-se.

Figura 26: Algoritmo de controlo da Iluminação Artificial do edifício

Na [Figura 27](#) é possível aferir a ligação que existe entre os parâmetros monitorizados do edifício em geral sendo que estes são utilizados no controlo dos sistemas automatizados. Também é identificado o objetivo de cada sistema automatizado do edifício.

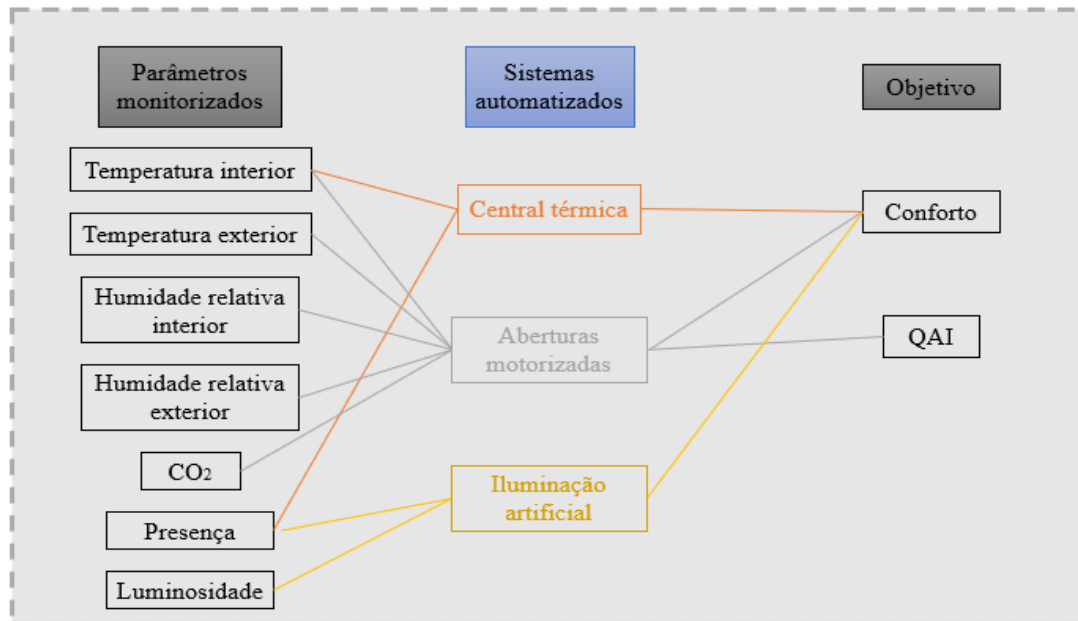


Figura 27: Esquema da monitorização e automatização do edifício

5.2. Salas de teste

Como já foi referido, as salas de teste foram o foco da atualização uma vez que houve a substituição e instalação de diversos equipamentos de monitorização e automatização. Os sistemas das salas de teste que suportaram esta modificação foram o BIPV, os tubos enterrados, os radiadores, a envolvente, a iluminação artificial, as persianas/estores externos e o registo das portas. De seguida, cada sistema será apresentado de forma mais detalhada juntamente com o respetivo algoritmo de controlo.

5.2.1. BIPV

O BIPV foi alterado de modo a existir a monitorização da temperatura superior e inferior dos painéis fotovoltaicos, a temperatura da caixa de ar superior e inferior e, a velocidade do ar. Já a automatização deste sistema permite ligar e desligar os ventiladores instalados nas caixas de ar e, orientar a abertura do registo superior e inferior das caixas. O 1º modo permite que o ar que sai da sala pela caixa de ar inferior seja aquecido pelo painel adjacente e volte a entrar na sala pela caixa superior sem que haja renovação de ar; o 2º modo possibilita que o ar exterior seja aquecido pelo painel e entre na sala pela caixa superior existindo renovação de ar; no 3º modo o ar exterior não chega a entrar na sala; já no 4º modo o ar da sala sai pela caixa inferior, circula pela parte traseira do painel e é expulso para o exterior pela caixa de ar superior. Estes quatro modos estão representados na [Figura 28](#).

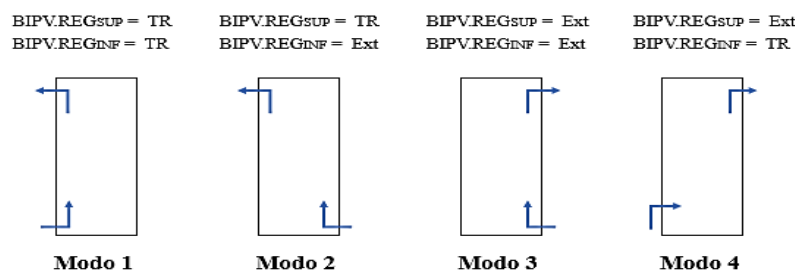


Figura 28: Modos de operação dos registos do BIPV

Todos os parâmetros usados no controlo do BIPV estão expostos na Tabela 8. Os parâmetros monitorizados que mais afetam a automatização do BIPV são a temperatura interior da sala de teste, a temperatura interior do edifício e a temperatura exterior. São medidas, respetivamente, pelo sensor de temperatura na sala de teste, nos corredores e na estação meteorológica na cobertura.

Tabela 8: Variáveis de controlo do BIPV

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Temperatura superior do BIPV	BIPV.T _{SUP}	°C	Sonda de temperatura	-
Temperatura inferior do BIPV	BIPV.T _{INF}	°C	Sonda de temperatura	-
Registo superior do BIPV	BIPV.REG _{SUP}	Ext/TR	BACS	Ext/Sala
Registo inferior do BIPV	BIPV.REG _{INF}	Ext/TR	BACS	Ext/Sala
Modo de operação dos registos	BIPV.MOD1	-	BACS	BIPV.REG _{SUP} = TR BIPV.REG _{INF} = TR
Modo de operação dos registos	BIPV.MOD2	-	BACS	BIPV.REG _{SUP} = TR BIPV.REG _{INF} = Ext
Modo de operação dos registos	BIPV.MOD3	-	BACS	BIPV.REG _{SUP} = Ext BIPV.REG _{INF} = Ext
Modo de operação dos registos	BIPV.MOD4	-	BACS	BIPV.REG _{SUP} = Ext BIPV.REG _{INF} = TR
Tempo mínimo de operação em cada modo	BIPV.T _{MOD}	Min	Definido	-
Ventiladores	BIPV _{VENT}	On/Off	BACS	On/Off
Velocidade do ar	BIPV _{VEL}	m/s	Anemómetro	-
Área da secção de conduta	BIPV _{ACond}	m ²	Definido	-
Calor específico do ar	BIPV _{CpAr}	kJ/kg.°C	Definido	-
Caudal de ar	BIPV _{QV}	m ³ /h	Calculado	-
Caudal de ar	BIPV _{QM}	kg/h	Calculado	-
Potência térmica fornecida	BIPV _{kW}	kW	Calculado	-
Energia térmica fornecida	BIPV _{kWh}	kWh	Calculado	-
Diferencial entre BIPV.T _{INF} e TR.T _{Int}	BIPV _{ΔT.TR}	°C	Calculado	-
Diferencial entre BIPV.T _{INF} e TR.T _{Ext}	BIPV _{ΔT.Ext}	°C	Calculado	-
Diferencial entre BIPV.T _{INF} e TR.T _{SetPoint}	BIPV _{ΔT.SetPoint}	°C	Calculado	-
Potência elétrica fornecida	BIPV _{kWe}	kW	Medido pelo BACS	-
Energia elétrica fornecida	BIPV _{kWhe}	kWh	Calculado	-
Rendimento elétrico	BIPV _η	%	Calculado	-

Na [Figura 29](#) está representado o algoritmo de controlo do BIPV. A primeira condição é se a temperatura medida no interior da sala de teste é inferior à temperatura mínima definida pelo utilizador. Caso se verifique, é averiguado se a temperatura exterior é superior à temperatura no interior da sala em dois graus celsius. Caso não se verifique, o passo seguinte é apurar se a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura máxima estipulada pelo utilizador. Se a temperatura exterior for superior à da sala de teste, os registos do BIPV são ativados no modo de operação 2 (renovação de ar). Já no caso de a temperatura exterior ser inferior, confirma-se se a temperatura na parte superior do painel é superior à temperatura da sala. Sempre que esta condição se verificar, existe a atuação dos registos no modo de operação 1 (aquecimento do ar da sala pelo BIPV). Já os registos do BIPV atuam no modo de operação 3 (impedimento na entrada de ar exterior) quando a temperatura superior do painel é inferior à temperatura da sala, quando a temperatura da sala é inferior à temperatura máxima indicada pelo utilizador e quando a temperatura exterior é superior à temperatura da sala. Quando a temperatura no interior da sala é superior à temperatura máxima determinada pelo utilizador, apura-se se temperatura no interior do edifício é inferior à da sala de teste. Caso esta condição não seja válida, verifica-se se temperatura exterior é superior à da sala de teste. Se isto não se confirmar, os ventiladores do BIPV são ligados e existe renovação do ar da sala de teste (modo 2). Quando a temperatura no interior do edifício é inferior à da sala, existe saída do ar da sala de teste (modo de operação 4). Sempre que os registos sofrem uma atuação, passado o tempo mínimo de operação especificado pelo utilizador repete-se o procedimento.

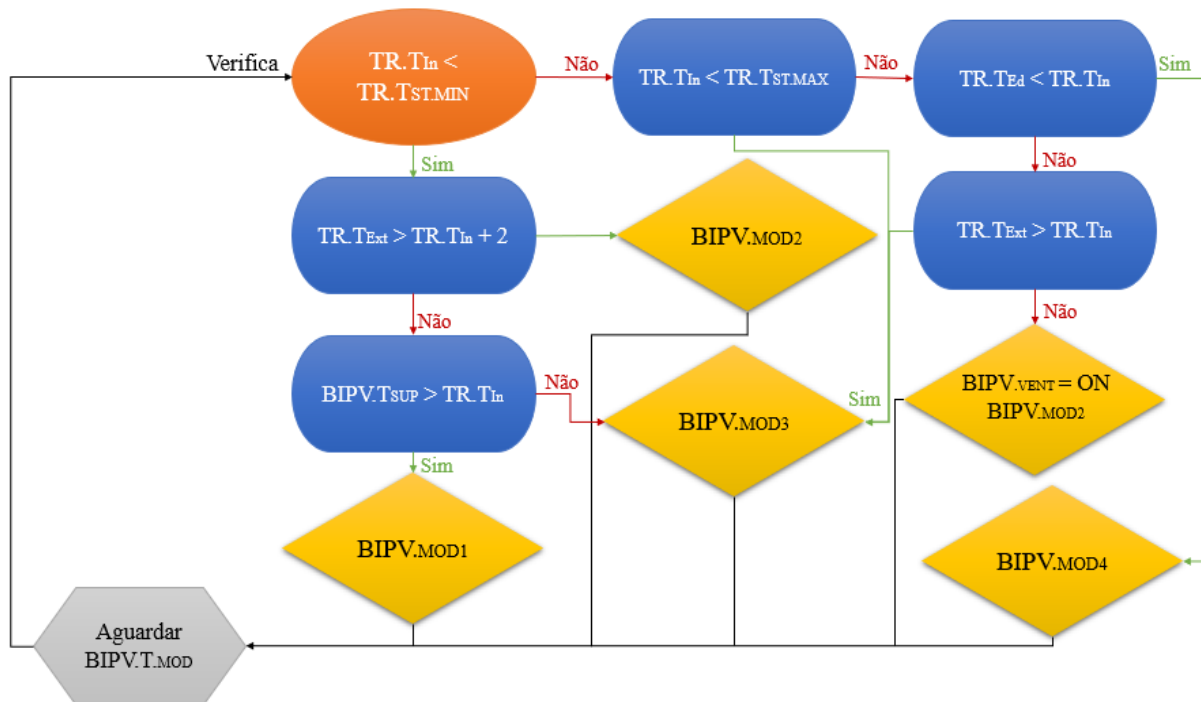


Figura 29: Algoritmo de controlo do BIPV

5.2.2. Tubos enterrados

Os tubos enterrados atualizados possibilitam a monitorização da temperatura dentro destes e, já é possível abrir ou fechar o registo dos tubos tal como variar a velocidade do ar vindo do exterior nos 5 níveis de velocidade existentes.

O único parâmetro monitorizado com impacto na automatização dos tubos enterrados é a temperatura interior da sala de teste. Este parâmetro é medido por um sensor de temperatura existente na sala de teste. Na [Tabela 9](#) estão evidenciadas todas as variáveis que influenciam o controlo dos tubos enterrados.

Tabela 9: Variáveis de controlo dos Tubos Enterrados

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Temperatura no interior dos tubos	TUBE.Temp	°C	Sonda de temperatura	-
Registo dos tubos	TUBE.REG1	On/Off	BACS	On/Off
Registo dos tubos	TUBE.REG2	On/Off	BACS	On/Off
Ventilador dos tubos	TUBE.VENT1	Vel. 0 a 5	BACS	5 vel.
Ventilador dos tubos	TUBE.VENT2	Vel. 0 a 5	BACS	5 vel.
Velocidade de ar	TUBE.VEL1	m/s	Definido	-
Área da secção de conduta	TUBE.Area	m ²	Definido	-
Calor específico do ar	TUBE.CpAr	kJ/kg.°C	Definido	-
Caudal de ar nos tubos	TUBE.QV	m ³ /h	Calculado	-
Caudal de ar nos tubos	TUBE.QM	kg/h	Calculado	-
Potência frigorífica fornecida	TUBE.kW	kW	Calculado	-
Energia frigorífica fornecida	TUBE.kWh	kWh	Calculado	-
Diferencial entre TR.T _{In} e TUBE.Temp	TUBE.ΔT.TR	°C	Calculado	-
Diferencial entre TR.T _{Ext} e TUBE.Temp	TUBE.ΔT.Ext	°C	Calculado	-
Diferencial entre TR.T _{SetPoint} e TUBE.Temp	TUBE.ΔT.SetPoint	°C	Calculado	-

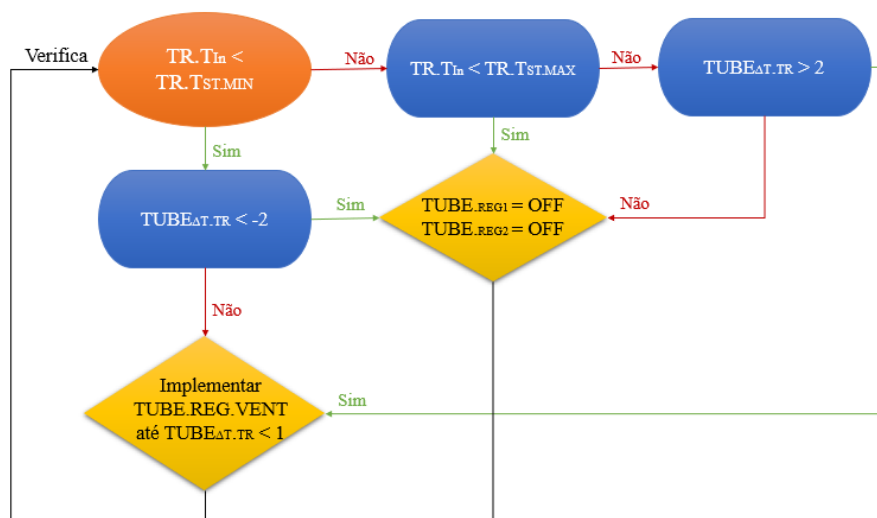


Figura 30: Algoritmo de controlo dos Tubos Enterrados

Na Figura 30 está representado o algoritmo de controlo dos tubos enterrados. Verifica-se se a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura mínima definida. Quando esta condição é validada, é apurado se a diferença entre a temperatura da sala e a dos tubos é inferior a -2°C. Já quando a condição não se confirme, é investigado se a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura máxima indicada. Quando a diferença de temperatura é inferior a -2°C ou inferior a 2°C ou se a temperatura da sala for inferior à máxima estipulada, os registos dos tubos enterrados são fechados. No entanto, se a diferença de temperatura for superior a -2°C ou superior a 2°C, é implementado o controlo dos registos e ventiladores dos tubos enterrados em função do valor calculado para esta diferença. Esta relação está apresentada na Tabela 10. Após a atuação dos registos volta-se a verificar se a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura mínima estabelecida.

Tabela 10: Intervalos de controlo dos registos e ventiladores dos tubos enterrados (TUBE.REG.VENT)

TUBE _{ΔT,TR}	REG1	REG2	VENT1	VENT2
[0,1[	Off	Off	0	0
[1,2[	On	Off	0	0
[2,3[	On	On	0	0
[3,4[	On	On	1	0
[4,5[	On	On	1	1
[5,6[	On	On	2	1
[6,7[	On	On	2	2
[7,8[	On	On	3	2
[8,9[	On	On	3	3
[9,10[	On	On	4	3
[10,11[	On	On	4	4
≥ 11	On	On	5	5

5.2.3. Radiadores

A modificação nos radiadores permitiu que o aquecimento da sala seja regulável pelos ocupantes e com um aquecimento existente só quando a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura definida pelo ocupante. Para tal a automatização do radiador depende do sensor de temperatura existente na sala que indica o valor da temperatura interior. A monitorização deste sistema inclui a medição da temperatura à entrada e à saída do radiador, o caudal de água e o consumo de gás natural derivado do aquecimento da sala. A atuação do radiador é realizada pela válvula que permite regular o aquecimento. O controlo dos radiadores está incluídos no algoritmo de controlo do circuito secundário, mas as variáveis utilizadas neste controlo estão identificadas na [Tabela 11](#).

Tabela 11: Variáveis de controlo dos Radiadores

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Temperatura da água à entrada	RAD.T _{In}	°C	Sonda de temperatura	-
Temperatura da água à saída	RAD.T _{Out}	°C	Sonda de temperatura	-
Caudal de água	RAD _{QM}	kg/h	Caudalímetro	-
Caudal de água	RAD _{QV}	l/s	Caudalímetro	-
Calor específico da água	RAD _{CpAgua}	kJ/kg.°C	Definido	-
Potência térmica fornecida	RAD _{kW}	kW	Calculado	-
Energia térmica fornecida	RAD _{kWh}	kWh	Calculado	-
Temperatura definida do radiador	RAD _{SetPoint}	°C	Definido	-
Posicionamento da válvula termostática	RAD _{VALV}	On/Off	BACS	On/Off
Consumo de gás natural	RAD _{GN[kW]}	kW	Calculado	-
Consumo de gás natural	RAD _{GN[kg/h]}	kg/h	Calculado	-
Consumo de gás natural	RAD _{GN[kg]}	kg	Calculado	-

5.2.4. Envolvente

A envolvente caracteriza-se pela monitorização de diversos parâmetros como a temperatura, a humidade relativa e a concentração de dióxido de carbono de diversos locais, a radiação incidente na fachada, a potência e a energia elétrica consumidas pelas tomadas, pela iluminação e pela sala de teste. No entanto, não existe automatização deste sistema. Todos os parâmetros monitorizados estão expostos na Tabela 12.

Tabela 12: Variáveis de controlo da Envolvente

Variável	Referência	Unidade	Origem
Temperatura no interior da sala	TR.T _{In}	°C	Sonda de temperatura
Temperatura definida para o interior	TR.T _{InSetPoint}	°C	Definido
Temperatura mínima estabelecida para o interior	TR.T _{ST.MIN}	°C	Definido
Temperatura máxima estabelecida para o interior	TR.T _{ST.MAX}	°C	Definido
Temperatura exterior	TR.T _{Ext}	°C	Sonda de temperatura
Temperatura no interior do edifício	TR.T _{Ed}	°C	Sonda de temperatura
Diferencial entre TR.T _{In} e TR.T _{Ext}	TR.ΔT _{Ext}	°C	Calculado
Diferencial entre TR.T _{In} e TR.T _{Ed}	TR.ΔT _{Ed}	°C	Calculado
Humidade relativa no interior da sala	TR.HR _{In}	%	Higrómetro
Humidade relativa exterior	TR.HR _{Ext}	%	Higrómetro
Humidade relativa no interior do edifício	TR.HR _{Ed}	%	Higrómetro
Diferencial entre TR.HR _{In} e TR.HR _{Ext}	TR.ΔHRE _{Ext}	%	Calculado
Diferencial entre TR.HR _{In} e TR.HR _{Ed}	TR.ΔHRE _{Ed}	%	Calculado
Concentração de CO ₂ no interior da sala	TR.CO ₂ _{In}	ppm	Sonda de CO ₂
Concentração de CO ₂ no interior do edifício	TR.CO ₂ _{Ed}	ppm	Sonda de CO ₂
Concentração máxima de CO ₂ admitida no interior da sala	TR.CO ₂ _{MAX}	ppm	Calculado
Diferencial entre TR.CO ₂ _{In} e TR.CO ₂ _{Ed}	TR.ΔCO ₂	ppm	Definido
Fluxo de calor indutivo	TR.FluxInd	W/m ²	Fluxímetro de calor
Área da parede	TR.FluxInd.Área	m ²	Definido
Potência térmica absorvida/libertada pela parede exterior	TR. FluxInd.kW	kW	Calculado

Energia térmica absorvida/libertada pela parede exterior	TR.FluxInd.kWh	kWh	Calculado
Radiação incidente na fachada	TR.RadSolar	W/m ²	Piranómetro
Iluminância no posto de trabalho	TR.Lux	lux	Luxímetro
Potência elétrica absorvida pelas tomadas	TR.EE.Tom[kW]	W	Medidor de energia
Potência elétrica absorvida pela iluminação	TR.EE.Ilum[kW]	W	Medidor de energia
Potência elétrica absorvida pela sala de teste	TR.EE.Total[kW]	W	Medidor de energia
Consumo de energia elétrica nas tomadas	TR.EE.Tom[kWh]	kWh	Calculado
Consumo de energia elétrica na iluminação	TR.EE.Ilum[kWh]	kWh	Calculado
Consumo de energia elétrica na sala de teste	TR.EE.Total[kWh]	kWh	Calculado

5.2.5. Iluminação artificial

O sistema de iluminação artificial das salas de teste também foi atualizado, existindo a instalação de lâmpadas LED com a capacidade de regulação da potência. A iluminação automática das salas de teste depende dos seguintes parâmetros monitorizados: o nível de iluminação natural e a presença nas salas. Para tal são usadas informações facultadas pelo sensor de presença e do sensor de luminosidade existentes nas salas. Foram definidas as seguintes variáveis para o controlo da iluminação.

Tabela 13: Variáveis de controlo da Envolvente

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Nível de atuação dos dispositivos de iluminação	LIGHT. _{0 a 8}	0 a 8	Equipamento	8 níveis
Sensor de presença	LIGHT. _{sensor}	On/Off	Equipamento	-
Iluminância da sala	TR.Lux	Lux	Sensor de luminosidade	-
Iluminância da sala definida	LIGHT.LuxSetPoint	Lux	Definido	-
Iluminância máxima da sala	LIGHT.LuxSPMax	Lux	Definido	-
Iluminância mínima da sala	LIGHT.LuxSPMin	Lux	Definido	-

Na [Figura 31](#) está ilustrado o algoritmo de controlo da iluminação artificial das salas de teste. Sempre que o sensor de presença detete ocupação, deve ser verificado se a iluminância medida na sala é superior ou inferior à iluminância definida pelo utilizador. Sempre que a iluminância seja superior à estabelecida, os dispositivos de iluminação artificial permanecem desligados. Já quando a iluminância for inferior, as lâmpadas são ligadas na potência estabelecida pelo passo seguinte. Este passo é apurar se a iluminância da divisão é inferior à iluminância mínima indicada pelo utilizador. Se esta condição for validada, a potência da lâmpada aumenta um nível. No caso contrário, é averiguado se o sensor ainda deteta presença ou não. Sempre que o nível de luminosidade é aumentado, a etapa seguinte é apurar se a iluminância da sala é superior à iluminância máxima estipulada pelo utilizador. Quando esta situação é confirmada, a potência da lâmpada diminui um nível. Caso a condição não seja comprovada, volta-se à verificação do sensor de presença e o procedimento repete-se.

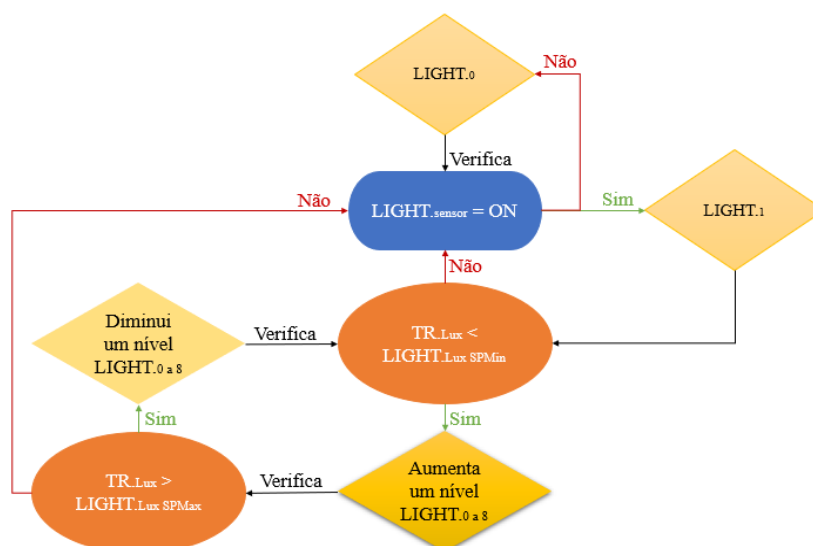


Figura 31: Algoritmo de controlo da Iluminação Artificial das salas de teste

5.2.6. Estores externos

Os estores externos foram substituídos por outros que têm a capacidade de regular a altura das persianas em 20 níveis e a inclinação das persianas em 3 níveis. O nível 0 da altura representa a persiana corrida (altura mínima da base da persiana) e o nível 20 equivale à altura máxima da base da persiana. Quanto à inclinação, o nível 0 corresponde a persianas horizontais, o nível 1 equivale a persianas a 45° e o nível 2 equipara-se a persianas verticais. Os parâmetros monitorizados que têm influência na atuação das persianas são a iluminância, a radiação incidente e a temperatura interior. Para tal recorre-se, respetivamente, à informação fornecida pelo sensor de luminosidade, pelo piranómetro e pelo sensor de temperatura existente nas salas de teste. Na [Tabela 14](#) verificam-se as variáveis pertinentes no controlo dos estores.

Tabela 14: Variáveis de controlo dos Estores Externos

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Altura da persiana	BLIND.HEIGHT 0-20	0 a 20	Equipamento	20 níveis
Inclinação da persiana	BLIND.SLOPE 0-2	0 a 2	Equipamento	3 níveis
Iluminância no posto de trabalho	TR.Lux	lux	Luxímetro	-
Iluminância definida para o posto de trabalho	BLIND.LuxSetPoint	lux	Definido	-
Iluminância máxima no posto de trabalho	TR.LuxMAX	lux	Definido	-
Radiação incidente na fachada	TR.RadSolar	W/m ²	Piranómetro	-
Nível de radiação incidente na fachada	TR.RAD.1,2	W/m ²	Definido	-
Temperatura interior	TR.T _{In}	°C	Sonda de temperatura	-
Temperatura interior indicada	TR.T _{InSetPoint}	°C	Definido	-
Tempo mínimo de permanência em cada modo	BLIND.T	min	Definido	-

NOTA: A iluminância definida pelo utilizador para as persianas deve ser superior à iluminância definida para o posto de trabalho para a iluminação artificial ($BLIND_LuxSetPoint > LIGHT_LuxSetPoint$).

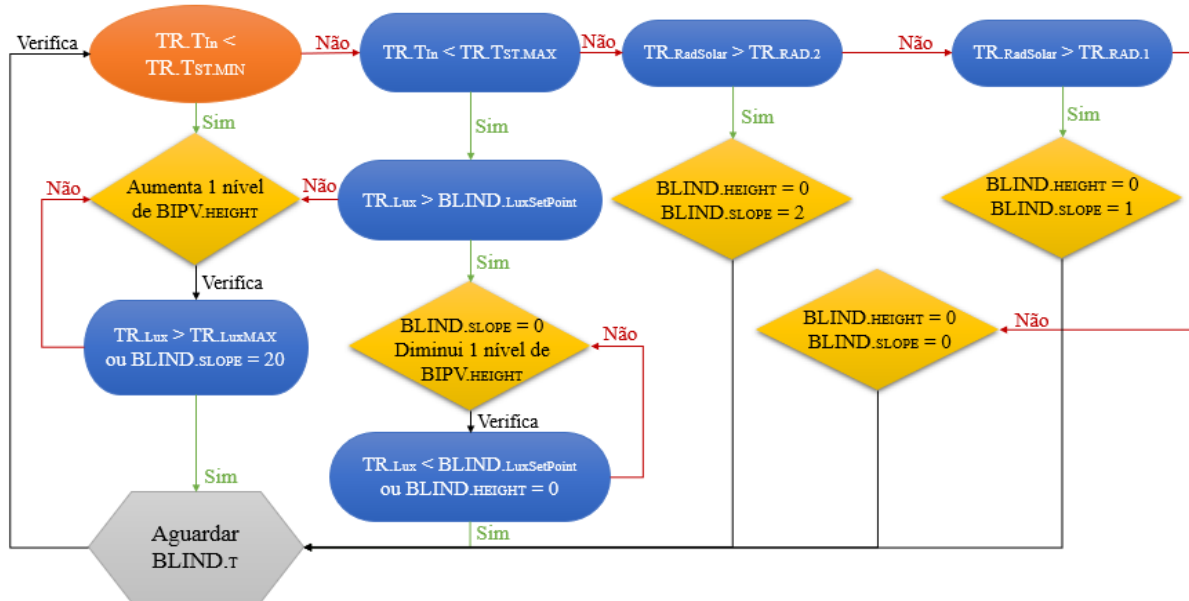


Figura 32: Algoritmo de controlo dos Estores Externos

Na Figura 32 está representado o algoritmo de controlo dos estores externos. Afere-se se a temperatura no interior da sala é inferior à temperatura mínima estabelecida. Se for confirmado ou se a iluminância da sala foi inferior à definida, a altura das persianas aumenta um nível. Caso não se verifique, é testado se a temperatura da sala é inferior à temperatura máxima estipulada. Quando isso ocorre, é averiguado se a iluminância na sala é superior à iluminância definida para as persianas. Caso isso não aconteça, apura-se se a radiação solar é superior ao nível da radiação indicado pelo utilizador. Sempre que a iluminância da sala de teste for inferior à estabelecida, as persianas ficam horizontais e a altura destas diminui um nível. Se a radiação solar incidente na fachada for superior ao nível especificado, as persianas ficam corridas e verticais. Na situação de a radiação ser inferior ao nível 2 definido, é investigado se é superior ao nível 1 de radiação solar estipulado. Se sim, as cortinas ficam corridas, mas num ângulo de 45°. Caso a radiação seja inferior ao nível 1, as cortinas ficam corridas e horizontais. Após o aumento do nível da altura das persianas, é confirmado se a iluminância da sala é superior à máxima determinada ou se a altura das persianas já atingiu o limite máximo. Quando isto não se verifica, aumenta-se o nível da altura das persianas até uma das condições anteriores de confirmar. Quando as persianas sofrem uma diminuição da altura, apura-se se a iluminância é inferior à estabelecida ou se a altura das persianas já atingiu o limite mínimo. Até uma destas condições ser válida, as persianas vão subindo. Quando as persianas estão completamente descidas ou subidas, aguarda-se o tempo mínimo de permanência em cada modo até voltar a analisar a temperatura do interior da sala.

5.2.7. Registo das portas

Previamente, o registo das portas das salas eram regulados por uma manivela sendo que agora foram mecanizados para atuar em 3 níveis de inclinação. O nível 0 equivale a registo da porta horizontal, o nível 1 corresponde a registo inclinado a 45° e o nível 2 equipara-se a registo vertical. Os parâmetros monitorizados que são relevantes para a automatização do registo da porta são a concentração de dióxido de carbono e a temperatura no interior das salas de teste. Deste modo, são usados os dados fornecidos pelos sensores de dióxido de carbono e de temperatura existentes nas salas de teste. É possível aferir as variáveis de controlo do registo das portas na Tabela 15.

Tabela 15: Variáveis de controlo do Registo da porta

Variável	Referência	Unidade	Origem	Atuação
Inclinação do registo	DOOR.SLOPE	0 a 2	Equipamento	3 níveis
Concentração de CO ₂ no interior da sala	TR.CO2 _{In}	ppm	Sonda de CO ₂	-
Concentração de CO ₂ no interior do edifício	TR.CO2 _{Ed}	ppm	Sonda de CO ₂	-
Diferencial entre TR.CO2 _{In} e TR.CO2 _{Ed}	TR.ΔCO2	ppm	Calculado	-
Concentração máxima de CO ₂ admissível	TR.CO2 _{MAX}	ppm	Definido	-
Temperatura no interior da sala	TR.T _{In}	°C	Sonda de temperatura	-
Temperatura definida para o interior da sala	TR.T _{InSetPoint}	°C	Definido	-
Temperatura no interior do edifício	TR.T _{Ed}	°C	Sonda de temperatura	-
Diferencial entre TR.T _{In} e TR.T _{Ed}	TR.ΔT.Ed	°C	Calculado	-
Período mínimo de permanência no regime em causa	DOOR.T	min	Equipamento	-

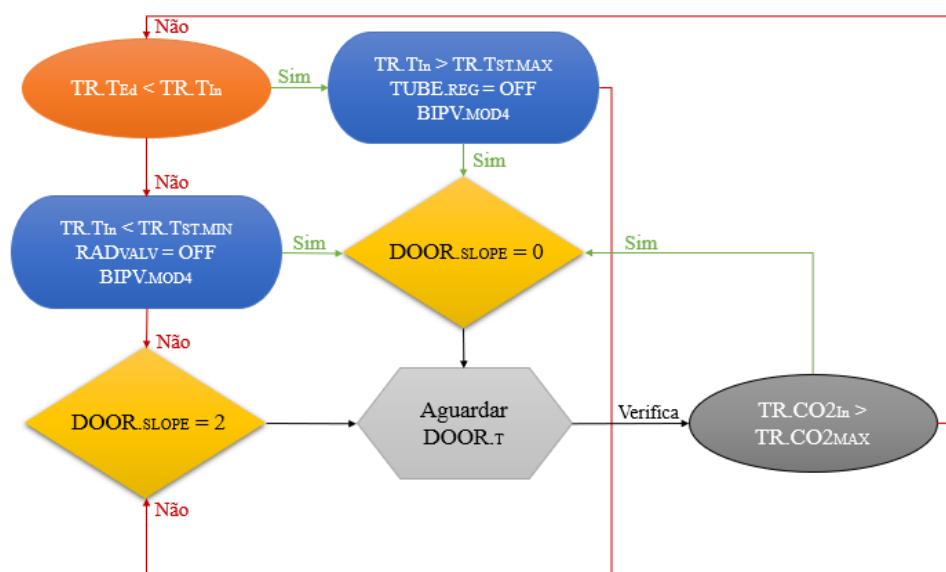


Figura 33: Algoritmo de controlo do Registo da porta

Na [Figura 33](#) está representado o algoritmo de controlo do registo das portas. O ponto de início é verificar a temperatura do edifício e a da sala. O 2º passo pode ser averiguar se a temperatura da sala é superior à temperatura máxima estabelecida, se os registos dos tubos enterrados estão fechados e se existe expulsão do ar da sala. Ou o 2º passo pode ser averiguar se a temperatura da sala é inferior à temperatura mínima estipulada, se válvula do radiador está fechada e se existe expulsão do ar da sala. O registo da porta fica sempre inclinado na horizontal para tentar aquecer a sala quando o edifício é mais quente ou para tentar arrefecer esta divisão quando o edifício está mais arrefecido. No entanto, o

registro da porta fica na posição vertical quando a temperatura da sala está dentro do intervalo máximo e mínimo definido. Após a atuação do registro da porta, aguarda-se o período mínimo de permanência no regime em causa para verificar a concentração do dióxido de carbono. Sempre que a concentração for superior à máxima definida, o registro da porta fica vertical e, passado o período mínimo volta-se a analisar a concentração. Já quando a concentração de dióxido de carbono não excede o limite máximo, volta-se a averiguar a temperatura do edifício e da sala de estar.

Na [Figura 34](#) encontra-se um esquema que explicita a correlação existente entre os parâmetros monitorizados, a automatização dos sistemas e o objetivo das automações destes sistemas das salas de teste.

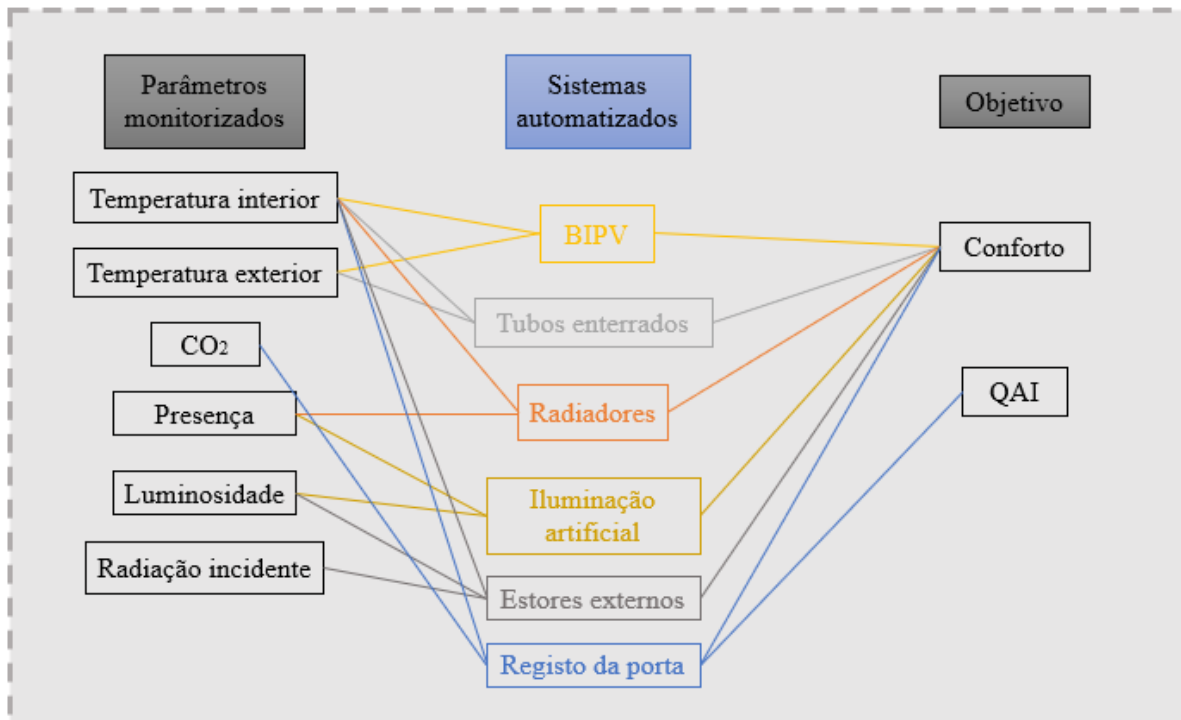


Figura 34: Esquema da monitorização e automatização das salas de teste

5.3. Equipamentos instalados

A automatização do edifício e das salas de teste exigiu a instalação diversos equipamentos entre os quais os controladores. Estes conseguem orientar os dispositivos mecanizados e forçar a sua atuação de modo a cumprir os algoritmos de controlo definidos para cada sistema. A empresa *Schneider Electric* ficou responsável pela instalação destes equipamentos elétricos. Na [Tabela 16](#) estão apresentados os equipamentos de automatização presentes no Solar XXI.

Tabela 16: Equipamentos de automatização instalados no edifício e salas de teste ^(h)



Ventilador (BIPV) (modelo ME80202V1-000U-G99)

O ventilador com motor sem escovas DC foi instalado no BIPV para forçar ventilação. A sua temperatura de operação é entre -10°C e 70°C. O ventilador é transversal e o material do rotor e da carcaça é de termoplasta. A tensão de alimentação é 24V (DC), a potência consumida é cerca de 1,5W e a corrente nominal é de 64 mA. A velocidade é de 3300 rotações por minuto e a eficiência do ventilador é de 61 m³/h.



Atuador do registo (Tubos enterrados) (modelo LF24, LF230)

Este motor é usado para manter o registo no início dos tubos enterrados numa determinada posição. Quando existe alimentação, encontra-se no fim-de-curso (ex. registo fechado) e a mola de retorno está tensa. Quando a alimentação é interrompida, o registo é levado para sua posição de repouso através da energia libertada pela mola (ex. registo aberto). A sua tensão nominal é 24V (AC), consome 5W para abrir o registo e 2,5W para o manter aberto. o torque do motor é, no mínimo, 4Nm e o ângulo de rotação é 95° no máximo.



Variador de velocidade (Tubos enterrados) (modelo ATV12H018M2)

Este dispositivo permite variar a velocidade do ar fresco, oriundo dos tubos enterrados, em função da temperatura indicada no visor da consola. Se a diferença de temperatura entre a sala e o exterior exceder um valor estabelecido, é imposta velocidade ao variador. Se a vel.1 não for suficiente para alcançar a temperatura desejada, o variador passa para a próxima velocidade. Tem um motor assíncrono. A tensão de alimentação nominal varia entre 200 e 240V. A potência do motor é 0,18 kW e o alcance da velocidade vai de 1 a 20 rpm. O protocolo de comunicação usado por este dispositivo é *ModBus*.



Atuador de válvula (radiador) (modelo MR95)

Este dispositivo é um pequeno atuador da válvula do radiador termoeletrico linear utilizado para a regulação do radiador (ON/OFF). A tensão de alimentação deste modelo é 24V (AC/DC) quando a válvula está fechada e 230V (DC) quando a válvula está aberta. A potência de alimentação é 2W. Possui um cabo com 1,5 metros de comprimento para estabelecer ligação elétrica. Este atuador tem um baixo consumo de energia e uma operação sem ruído.



Luminária (modelo VT-1807)

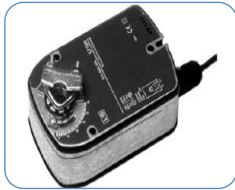
Este fonte de iluminação artificial LED tem uma potência de 18W, 1 500 lúmens e cor da luz branca quente. O ângulo do feixe luminoso é 120° e o tempo de vida ronda as 20 000 horas. Existe a opção de regular o nível de iluminação desta fonte, o que neste caso de estudo é realizado pelo PLC. É recomendado que a utilização diária não supere 10 a 12 horas. Esta luminária tem compatibilidade com sensores.

^(h) Informações retiradas das fichas técnicas dos equipamentos fornecidas pela *Schneider Electric*



Estores externos (modelo E60 A6S)

A função destes estores é proteção solar e sombreamento das fachadas. Estes conseguem refletir 80% dos raios solares incidentes e as lamelas de alumínio podem ser orientadas de modo a regular a luminosidade da divisão a qualquer altura do dia. De momento, os estores são comandados por um interruptor, contudo o objetivo final é funcionarem automaticamente em função de vários sensores (ex. piranómetro) com base no algoritmo desenvolvido.



Atuador de registo (BIPV e Porta) (modelo LF24-SR)

Este atuador é um aparelho destinado à operação de registos de ar até cerca de 0,8 m² de área de secção transversal. O controlo é efetuado por um controlador eletrónico com sinal de 0 a 10V (DC). A tensão de alimentação nominal é 24V (AC/DC), consome 1W para abrir o registo e 2,5W para manter aberto. A rotação pode ser efetuado até os 95° no máximo, a atuação demora 150 segundos e cerca de 20 segundos para abrir/fechar o registo.



Controlador lógico (modelo TM241CE24T)

Este controlador tem como funções principais a automatização, controlo e monitorização dos equipamentos. A sua tensão de alimentação nominal é 24V (DC) e a potência consumida pode variar de 32,6 a 40,4W. Possui uma bateria de lítio não recarregável com tempo de vida de 4 anos. O tempo de execução de uma tarefa eventual e periódica é 0,3 ms, mas para outras instruções demora 0,7 ms. Tem uma capacidade de memória de 8MB para programa e 64MB para sistema de memória RAM. Os serviços de Ethernet incluem notificações por SMS, atualização de *firmware*, programação, *download* e monitorização. O protocolo de comunicação utilizado é *ModBus master/slave*. É este equipamento que permite controlar e regular a iluminação, o fluxo de ar do BIPV, o arrefecimento passivo pelos tubos enterrados e a ventilação pelo registo da porta.



Módulo de entradas analógicas (modelo TM3TI4)

Este módulo permite entradas analógicas de medições realizadas ou outras informações requisitadas pelo controlador. Existem 4 entradas analógicas e os tipos de entrada podem ser correntes de 4 a 20A ou de 0 a 20A, tensões de 0 a 10V ou de -10V a 10V e, par termoelétrico com diferentes intervalos de temperatura. A resolução das entradas analógicas é de 16 bits. A tensão de alimentação nominal é de 24V (DC). O tempo de conversão do sinal é a soma de 1ms, 1ms por canal e um ciclo de tempo do controlador.



Módulo de saídas analógicas (modelo TM3AQ4)

Este módulo possibilita saídas analógicas para a realização de medições ou outras atuações analógicas ordenadas pelo controlador. Existem 4 saídas analógicas e os tipos de saída podem ser correntes de 4 a 20A ou de 0 a 20A e, tensões de 0 a 10V ou de -10V a 10V. A resolução das entradas analógicas é de 12 bits. A tensão de alimentação nominal é de 24V (DC). O tempo de conversão do sinal é a soma de 1ms, 1ms por canal e um ciclo de tempo do controlador.

5.4. Sistema de gestão técnica do edifício

O *EcoStruxure Building Expert* trata-se sistema aberto, providenciado pela *Schneider Electric*, que permite a gestão técnica e o controlo programável do edifício. Este BACS para além de controlar o edifício, monitoriza os sistemas de iluminação, de aquecimento, de ventilação, entre outros, ininterruptamente. Possui comandos e controlos sem necessidade de ligações com fios, economizando nos custos de instalação e manutenção. Todos os equipamentos de automatização estão interligados e controlados pelo BACS pelo que qualquer um destes equipamentos pode ser acedido por dispositivos portáteis, como computador, telemóvel e tablet desde que tenha acesso ao VPN do LNEG e ligação a uma rede Wi-Fi. Por isso, é possível enviar ordens a qualquer um destes dispositivos estando longe do local já que a mobilidade geográfica não é uma constrictão ao controlo do edifício. A automatização é realizada de 30 em 30 minutos. Este software possibilita, igualmente, verificar se os equipamentos eléctricos estão a comunicar adequadamente uns com os outros já que a comunicação eletrónica é uma componente deveras indispensável da gestão e controlo do edifício. É possível observar o sistema de gestão do edifício e da sala de teste nas [Figuras 35](#) e [36](#), respetivamente.

Esta ferramenta permite obter controlo sobre o consumo e uso de energia pelo edifício e, aumentar a eficiência energética. Os benefícios traduzem-se em poupanças energéticas derivadas de uma melhor gestão e controlo do edifício, aperfeiçoamento do conforto dos ocupantes já que os sistemas se ajustam automaticamente segundo as condições existentes e as condições definidas pelos utilizadores. Os ocupantes podem também economizar tempo, que seria desperdiçado em controlar manualmente os sistemas técnicos, e aproveitar enquanto os equipamentos são administrados automaticamente pelo *EcoStruxure Building Expert*. O edifício passa a ter um melhor desempenho uma vez que já não depende de controlo manual feito por pessoas suscetíveis a falhas ou erros mais frequentes do que uma máquina.



Figura 36: Interface do sistema de controlo da sala de teste 2



Figura 35: Interface do Sistema de Gestão do Solar XXI

No Capítulo 9 serão apresentados os resultados obtidos sobre a avaliação dos algoritmos de automatização propostos neste capítulo para o edifício e para as salas de teste.

6. Net ZEB Evaluation Tool

O pós-processamento e relatório de dados será efetuado a partir da utilização da ferramenta *Net ZEB Evaluation Tool* para o edifício Solar XXI. O *Net ZEB Evaluation Tool* é uma ferramenta baseada numa folha de cálculo de *Excel*® que permite determinar o balanço de energia, o custo de operação e o índice de correspondência de carga para definições predefinidas selecionadas. O objetivo deste instrumento é avaliar soluções adotadas no projeto de edifícios em relação às definições no *Net ZEB*, estimar o balanço nos edifícios monitorizados e assistir o próximo processo de implementação dos *Net ZEBs* dentro da estrutura normativa nacional. Esta ferramenta inclui um número limitado de definições de *Net ZEB* que resultam de uma combinação de critérios escolhidos; implementa os cálculos relevantes para as diferentes definições selecionadas; e abrange diversos critérios e opções que são essenciais para o desenvolvimento das definições de *Net ZEB*. Na *Figura 37* encontra-se um esquema que representa o modo como o balanço energético do Solar XXI será calculado tendo em conta a energia renovável exportada e a energia importada da rede.

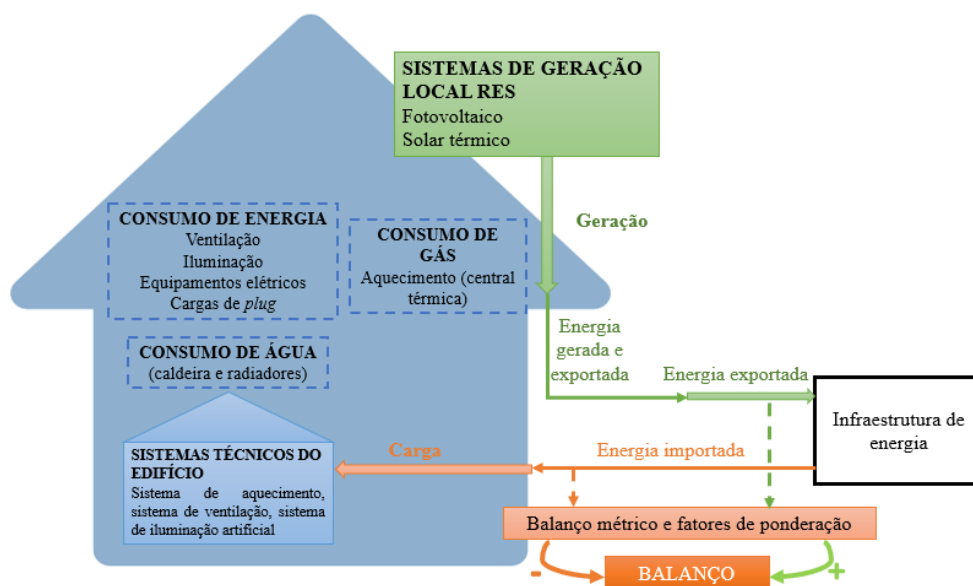


Figura 37: Esquema das ligações entre o edifício e a rede elétrica, representando as terminologias mais relevantes

Todas as definições de *Net ZEB* respeitam as seguintes condições: o termo refere-se a um edifício singular visto que esta ferramenta não avalia um conjunto de vários edifícios como comunidades, distritos ou cidades; um *Net ZEB* é um edifício ligado a uma infraestrutura de energia com a qual realiza trocas energéticas pelo que os edifícios autónomos não são abordados; nenhuma tecnologia de produção elétrica é desprezada, contudo algumas são mais recorrentes que outras devido ao seu estado de desenvolvimento (painéis fotovoltaicos, unidades de cogeração, turbinas eólicas, células de combustível, redes locais de aquecimento/arrefecimento com fluxos de calor/frio); a definição de *Net ZEB* é alcançada considerando unicamente o balanço energético entre a energia exportada e a importada.

Nesta ferramenta, os seguintes conceitos são relevantes e importantes para a definição de um *Net ZEB*: energia importada, consumo, energia exportada, geração, sistemas técnicos do edifício, fronteira do edifício, fatores de ponderação e índice de correspondência de carga. A energia importada, em kWh/m².ano, é o fluxo de energia que deriva de uma rede elétrica para o edifício e que suprime os consumos considerados (aquecimento, arrefecimento, ventilação, Águas Quentes Sanitárias – AQS, iluminação, equipamentos elétricos, etc.). O consumo é a procura de energia do edifício, em kWh/m².ano. A energia exportada, em kWh/m².ano, é o fluxo de energia do edifício para uma rede elétrica e pode ser especificada segundo tipo de produção (coletores solares, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, etc.) para aplicar os fatores de ponderação adequados. A geração é a oferta de energia

do edifício, em kWh/m².ano. Os sistemas técnicos do edifício são equipamentos técnicos para aquecimento, arrefecimento, ventilação, AQS, iluminação e produção de eletricidade. A fronteira do edifício identifica os fluxos de energia a entrar e sair do sistema e, pode ser uma fronteira física ou uma fronteira de balanço. Os fatores de ponderação convertem as unidades físicas em outras métricas (Ex: energia utilizada/emissões libertadas para obter, produzir e fornecer energia). Os fatores de ponderação podem ser simétricos/assimétricos (fatores iguais para energia consumida e produzida ou fatores diferentes) ou estáticos/dinâmicos (fatores de ponderação iguais ao longo de um ano ou fatores que variam mensalmente). Por último, o índice de correspondência indica a fração do consumo que se encontra coberta pelos sistemas de produção local. Sempre que a geração supera o consumo, o excedente energético é injetado na rede pelo que o índice de correspondência de carga máximo é 100%.

6.1. Definições de *Net ZEB*

Um *Net Zero Energy Building* é um “sistema do edifício” delimitado por fronteiras físicas definidas, ligado a uma qualquer infraestrutura de energia cujo balanço entre o seu consumo e produção de energia ponderada é nulo ^[20].

6.1.1. *Net ZEB Limited*

Esta definição é alcançada se o edifício cumprir requisitos mínimos para um *Net ZEB* de acordo com a Diretiva Europeia ⁽ⁱ⁾. Trata-se de um edifício de baixo consumo energético que cumpre os requerimentos de eficiência energética nacionais/locais. O balanço é entre o consumo ponderado de energia para aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação, auxiliares e iluminação incorporada (apenas para edifícios não residenciais) e, a produção ponderada de energia por sistemas de geração local acionados por fontes *on-site* ou *off-site* ligados a uma infraestrutura de energia. O sistema de ponderação leva em conta fatores de energia primários simétricos e estáticos ou dinâmicos ^[20].

6.1.2. *Net ZEB Primary*

É um edifício de baixo consumo energético que cumpre os requerimentos de eficiência energética nacionais/locais. O balanço é entre o consumo ponderado de energia para aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação, auxiliares, iluminação incorporada e todos os tipos de cargas *plug* (incluindo mobilidade elétrica) e, a produção ponderada de energia somente por sistemas de geração local acionados por fontes *on-site* ou *off-site* ligados a uma infraestrutura de energia. O sistema de ponderação tem em conta fatores de energia primários simétricos e estáticos ou dinâmicos ^[20].

6.1.3. *Net ZEB Strategic*

Trata-se de um edifício de baixo consumo energético que cumpre os requerimentos de eficiência energética nacionais/locais. O balanço é entre o consumo ponderado de energia para aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação, auxiliares, iluminação incorporada e todos os tipos de cargas *plug*, a produção ponderada de energia por sistemas de geração local ou não local acionados por fontes *on-site* ou *off-site* ligados a uma infraestrutura de energia. O sistema de ponderação leva em conta fatores de energia de qualquer métrica assimétricos e estáticos ou dinâmicos, que variam de acordo com o transportador de energia, a tecnologia usada como sistema de produção e a sua localização ^[20].

6.1.4. *Net ZEB Carbon*

É um edifício de baixo consumo energético que cumpre os requerimentos de eficiência energética nacionais/locais. O balanço é entre o consumo ponderado de energia para aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação, auxiliares, iluminação incorporada e todos os tipos de cargas *plug* e, a produção ponderada de energia por sistemas de geração local acionados por fontes *on-site* ou *off-site* ligados a uma infraestrutura de energia. O sistema de ponderação considera fatores de emissão de carbono

⁽ⁱ⁾ Reformulação da EPBD (2010), Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios

estáticos ou dinâmicos e simétricos ou assimétricos, dependendo do transportador de energia, da tecnologia utilizada como sistema de geração de energia e da sua localização ^[20].

6.2. Folha de cálculo

A folha de cálculo usada para avaliar as diferentes definições de Net ZEB contém diversas subfolhas.

A subfolha “*Building Data*” é para introduzir dados referentes à procura de energia (consumo ou energia importada) e sobre oferta (geração ou energia exportada). É importante identificar se é um edifício residencial ou não residencial, sendo que no último caso deve-se especificar o tipo de edifício devido às definições que a folha de cálculo recorre. A localização é um dado relevante, porque se o país indicado conta na lista da folha, valores-padrão de fatores de ponderação desse país são assumidos automaticamente. Nesta subfolha existem 3 secções para diferentes tipos de dados a introduzir: *building design data*, *estimated building-grid interaction data* e *monitored building-grid interaction data*. Portanto, escolhe-se a correspondente secção se os dados a introduzir forem os projetados na fase inicial, estimados ou medidos. Os dados de consumo/importação e geração/exportação devem estar todos em kWh/m².ano, contudo valores mensais são requeridos para calcular o índice de correspondência de carga. Todos os dados inseridos na folha devem ser relacionados à mesma área do edifício e ser do mesmo ano. Os dados usados nesta subfolha estão expostos na [Tabela 17](#) e [18](#).

Tabela 17: Dados sobre o edifício

Name of project	Solar XXI
Building Type	Non Residential
Location (city, country)	Lisboa, Portugal
Energy Rating	A ⁺

Tabela 18: Dados monitorizados sobre a interação edifício - rede

<i>Time resolution of monitored data</i>	monthly	<i>Monitored delivered energy for plug loads [kWh/m².year]</i>	-									
e _i Monitored exported energy carriers												
	<div>i – energy carrier</div> <div>e_i – exported energy by:</div>	Electricity [kWh/m ² .y]	Heat [kWh/m ² .y]									
<i>Building on-site generation systems connected to the energy infrastructure</i>	PV	23,24 ⁽ⁱ⁾	-									
	Solar thermal	-	0									
d _i Monitored delivered energy carriers												
	<div>i – energy carrier</div> <div>d_i- delivered energy</div>	Electricity [kWh _{el} /m ² .y]	Gas [kWh _g /m ² .y]									
		25,75 ⁽ⁱ⁾	19,24 ^(k)									
Monitored monthly data about exported and delivered energy												
i ₁ = electricity ⁽ⁱ⁾	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Exported [kWh _e /m ²]	1.47	1.64	2.06	2.05	2.19	2.12	2.29	2.41	2.25	1.89	1.50	1.35
Delivered [kWh _e /m ²]	2.57	2.27	2.25	2.07	2.22	2.02	1.98	1.85	1.88	2.13	2.31	2.21
Generated [kWh _e /m ²]	1.47	1.64	2.06	2.05	2.19	2.12	2.29	2.41	2.25	1.89	1.50	1.35
i ₅ = heat	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Exported [kWh _h /m ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Delivered [kWh _h /m ²] ^(k)	6.32	3.25	1.76	1.12	0.06	0	0	0	0	0.79	0.52	5.43
Generated [kWh _h /m ²] ^(k)	0.20	0.54	0.57	0.41	0.02	0	0.04	0.13	0.11	0.20	1.68	2.42

⁽ⁱ⁾ Valores médios dos dados medidos desde 2006 até 2019

^(k) Valores medidos pelo *Power Monitoring Expert*

Os fatores de conversão devem ser apresentados para converter a energia final nas métricas assumidas pelas definições selecionadas (energia primária, emissões de CO₂ ou outra métrica definida pelo utilizador), permitindo calcular o balanço de energia. Se escolher a subfolha “*Static Weighting Factors*”, opta-se por dados anuais que juntamente com os custos de operação permitem avaliar as definições de *Net ZEB* numa base anual. Se a subfolha “*Quasi-static Weighting Factors*” for preferida, escolhe-se indicar dados mensais que com a introdução de custos de operação possibilitam avaliar a definição de *Net ZEB* numa base mensal. Cada fator de ponderação introduzido nestas duas subfolhas pode ser simétrico ou assimétrico. Seja qual for a subfolha escolhida, a estrutura é a mesma com três secções de tipos de fatores de ponderação: *primary energy factors*, *strategic factors* e *carbon factors*. O *primary energy factors* devem ser inseridos para estimar as definições *Net ZEB limited* e *Net ZEB primary* e, estes fatores de energia primária devem ser simétricos. O *strategic factors* devem ser introduzidos para avaliar a definição *Net ZEB strategic* e, estes fatores de energia primários ou de carbono devem ser assimétricos. Os *strategic factors* podem ser usados para promover ou desalentar a adoção de certas tecnologias de produção e transportadores de energia. O *carbon factors* devem ser inseridos para avaliar a definição *Net ZEB carbon* e, estes fatores podem ser simétricos ou assimétricos. Os fatores de conversão utilizados, primários ou de carbono, encontram-se na [Tabela 19](#).

Tabela 19: Fatores de ponderação estáticos

Primary Energy Factors			
W _i [kWh _{pe} /kWh _i]		Electricity	Gas
Symmetric primary energy factors		1.71 ^[6]	1 ^(l)
Strategic Factors			
Asymmetric strategic weighting factors for exported energy – W _{e,i-sys}			
W _i [kWh _{pe} /kWh _i]	i – energy carrier	Electricity	Heat
	sys – energy generation system		
<i>Building on-site generation systems connected to the energy infrastructure</i>	PV	2.5 ^(m)	-
	Solar thermal	-	1 ⁽ⁿ⁾
Asymmetric strategic weighting factors for delivered energy – W _{d,i}			
i – energy carrier		Electricity	Gas
W _{d,i} [U _{ws} /kWh _i]		2.5 ^(m)	1 ^(l)
Carbon Factors			
Symmetric or asymmetric carbon factors for exported energy – W _{e,i-sys}			
W _i [kgCO ₂ /kWh _i]	i – energy carrier	Electricity	Heat
	sys – energy generation system		
<i>Building on-site generation systems connected to the energy infrastructure</i>	PV	0.487 ^[21]	-
	Solar thermal	-	0.022 ^[22]
Symmetric or asymmetric carbon factors for delivered energy – W _{d,i}			
i – energy carrier		Electricity	Gas
W _{d,i} [kgCO ₂ /kWh _i]		0,144 ^(m)	0,202 ^(l)

^(l) Fator de conversão retirado de Despacho (Extrato) n.º. 15793-D/2013 para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis

^(m) Fator de conversão retirado de Despacho (Extrato) n.º. 15793-D/2013 para eletricidade, independentemente da origem

⁽ⁿ⁾ Fator de conversão retirado de Despacho (Extrato) n.º. 15793-D/2013 para energia térmica de origem renovável

A subfolha de “*Operating Costs*” é para inserir custos de operação específicos por unidade de energia exportada e importada e, incentivos à geração a partir de fontes de energias renováveis (FER), caso existam, para cada transportador de energia e sistema de produção [$C_{e(i-sys)}/\text{kWh}$]. Os preços de compra e venda da energia pelo edifício estão apresentados na [Tabela 20](#).

As subfolhas “*Net ZEB evaluation*” e “*quasi-static Net ZEB evaluation*” são onde serão apresentados os resultados obtidos a partir dos dados inseridos anteriormente e, ambos possuem a mesma estrutura. É apresentado *generation/load balance*, *estimated imported/export balance* ou *monitored import/export balance* segundo a escolha realizada na subfolha “*Building Data*”. É sempre apresentado um balanço para cada tipo de definição, um gráfico de energia importada ponderada e energia exportada ponderada, um gráfico de energia elétrica importada e exportada com o correspondente valor médio do índice de correspondência de carga elétrica e, um gráfico de energia térmica importada e exportada com o respetivo valor médio do índice de correspondência de carga térmica. Na secção inferior são apresentados os custos de operação por tipo de definição. O balanço é calculado subtraindo a geração/exportação pelo consumo/importação. Se o valor for positivo, a geração/exportação é superior ao consumo/importação, contudo um valor negativo significa que o consumo/importação é maior que a geração/exportação.

Tabela 20: Custos de operação

Specific costs for exported energy			
$C_{e(i-sys)}$ per kWh	i – energy carrier	Electricity	Heat
	sys – energy generation system		
<i>Building on-site generation systems connected to the energy infrastructure</i>	PV	0.05 ^[23]	-
	Solar thermal	-	0
Incentives for generation			
$C_{in(i-sys)}$ per kWh	i – energy carrier	Electricity	Heat
	sys – energy generation system		
<i>Building on-site generation systems connected to the energy infrastructure</i>	PV	0	-
	Solar thermal	-	0
Specific costs for delivered energy			
$C_{d(i)}$ per kWh	i – energy carrier	Electricity	Gas
		0,14 ^(o)	0,09 ^[24]

Não foi possível obter o preço de gás do Solar XXI já que as faturas passaram a ser da responsabilidade da Agência para a Competitividade e Inovação (IAPMEI). Logo, foram obtidos os preços médios diários de gás natural comprimido do continente desde 1 de janeiro até 31 de dezembro de 2019 no site sugerido pela Direção Geral de Energia e Geologia. Foi efetuada uma média e, o resultado obtido de 1,066 €/m³ ^[24] foi convertido em €/kWh usando um fator de conversão calculado pela seguinte fórmula:

$$F_c \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] = PCS \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \times \left(\frac{273.15}{273.15 + T_{\text{gás}} [^\circ\text{C}]} \right) \times \left(\frac{P_c [\text{bar}] + 1.01325}{1.01325} \right) \quad (6.1)$$

O valor de PCS (Poder Calorífico Superior) usado foi 11,9 kWh/m³ ^[25], de temperatura e de pressão foram 24°C e 30 mbar, respetivamente. Os valores da temperatura e da pressão utilizados foram obtidos pelo contador de gás existente no Solar XXI. Deste modo, o fator de conversão obtido para o gás natural foi aproximadamente 11,26 kWh/m³.

^(o) Valor retirado de uma fatura da eletricidade do Solar XXI, de dezembro de 2016

7. Smart Readness Indicator

Devido à Diretiva 2018/844 publicada em 2018 ^(p), a avaliação dos edifícios deve passar a incluir o SRI tendo em conta que os edifícios devem ter um papel mais ativo no sistema energético ^[26]. O SRI é uma ferramenta que pode complementar os EPC uma vez que consegue classificar os edifícios com base na sua capacidade de armazenamento de energia, potencial de transferência de cargas e a interação com a rede ^[26]. Pode, ainda, quantificar e avaliar os impactos que as tecnologias inteligentes têm sobre os edifícios. A Comissão deve definir este indicador e determinar uma metodologia para estimar as capacidades de um edifício para adaptar a sua operação às necessidades dos ocupantes e à rede e, melhorar a sua eficiência energética e o seu desempenho global ^[26]. Em muitas situações, o desempenho energético previsto difere muito do real, contudo um edifício inteligente com um SRI elevado possui a capacidade de controlar amplamente os seus sistemas permitindo que o edifício tenha um desempenho real igual ou melhor ao previsto. Uma boa classificação SRI conjugada com uma classificação elevada do EPC refletem a qualidade superior do edifício e, por isso, o valor imobiliário deste pode aumentar.

7.1. Metodologia

O SRI é calculado com base em 8 critérios de impacto:

- **Poupanças energéticas:** O impacto que os serviços inteligentes têm nas capacidades de poupança de energia. É considerado apenas o contributo das tecnologias inteligentes e não do desempenho energético todo do edifício. Exemplo: As poupanças de energia resultantes de um maior controlo sobre as definições de temperatura numa divisão ^[27].
- **Flexibilidade para a rede e armazenamento:** O impacto dos serviços no potencial de flexibilidade energética do edifício ^[27].
- **Auto geração:** O impacto dos serviços na quantidade e na participação da geração de energias renováveis pelos sistemas locais e, no controlo do autoconsumo ou no armazenamento de energia produzida de forma a conferir mais autonomia do edifício ^[27].
- **Conforto:** O impacto que os serviços inteligentes possuem no conforto dos ocupantes. O conforto refere-se à perceção consciente e inconsciente do ambiente físico, incluindo conforto térmico, conforto acústico e desempenho visual (ex. níveis de iluminação suficientes para o posto de trabalho sem ser demasiado brilhante). Os serviços inteligentes podem assegurar que as condições interiores vão de encontro com os critérios de conforto durante a operação do edifício. Exemplo: Controlo dos HVAC, controlo de sombreamento, ajuste de taxas de ventilação, entre outros ^[27].
- **Conveniência:** Os impactos que os serviços têm na conveniência dos ocupantes, isto é, a extensão de como os serviços facilitam o quotidiano dos ocupantes. Exemplo: Requerimento de menos interações manuais para controlar os sistemas técnicos do edifício ^[27].
- **Saúde e bem-estar:** O modo como os serviços afetam o bem-estar e a saúde dos ocupantes. Não causar danos relativamente ao bem-estar e saúde dos residentes é uma condição de fronteira bastante estrita, que é requerida para todos os serviços incluídos na avaliação do SRI. Esta categoria valoriza o impacto positivo que alguns serviços conseguem providenciar. Exemplo: Controlos inteligentes podem entregar ar interior com melhor qualidade comparado com os controlos tradicionais, aumentando o bem-estar dos ocupantes com um impacto comensurável na saúde destes ^[27].

^(p) Diretiva 2018/844/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva (UE) 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética

- **Manutenção e previsão de falhas:** A detecção de falhas e diagnóstico automatizados possuem o potencial de melhorar significativamente a manutenção e a operação dos sistemas técnicos do edifício. Possui, igualmente, potenciais impactos no desempenho energético destes sistemas ao detetar e diagnosticar operações ineficientes ^[27].
- **Informação para os ocupantes:** Os impactos dos serviços na prestação de informações sobre a operação do edifício aos ocupantes ^[27].

As poupanças energéticas e a manutenção são critérios que se incluem na operação do edifício. O conforto, a conveniência, o bem-estar e saúde e, a informação os ocupantes são critérios relativos às necessidades dos ocupantes. Já a flexibilidade para a rede e armazenamento diz respeito às necessidades da rede elétrica. Os ocupantes, o edifício e a rede são funcionalidades chave que têm pesos iguais no cálculo de SRI (na metodologia atual) ^[26]. Deste modo, cada um deles têm um peso de cerca de 33% ($100\%/3 \approx 33,3\%$) e, cada critério incluído nessa funcionalidade possui a mesma importância. Assim, as poupanças energéticas e a manutenção têm um peso de cerca de 17% ($33\%/2 \approx 16,5\%$); o conforto, conveniência, bem-estar e saúde e, informação aos ocupantes representam aproximadamente 8% ($33\%/4 \approx 8,3\%$); e a flexibilidade tem um peso de 33% ($33\%/1 = 33\%$). Os fatores de ponderação podem ser visualizados na [Figura 38](#).

Cada critério de impacto é uma média ponderada de 10 domínios: aquecimento, AQS, arrefecimento, ventilação controlada, iluminação, envolvente dinâmica, geração de energia renovável, gestão da procura, carregamento de veículos elétricos e, monitorização e controlo. Cada domínio tem o fator de ponderação com um valor padrão ou com um valor definido pelo utilizador. Cada domínio tem vários serviços que devem ser classificados pelo seu nível de funcionalidade.



Figura 38: Fatores de ponderação de cada funcionalidade e critério de impacto

Existem diferentes procedimentos para avaliar o SRI de um edifício:

- **Método A – Simplificado:** Trata-se de uma abordagem simplificada, com uma lista de serviços limitada que deve ser classificada. Este método foca-se principalmente em edifícios residenciais e não residenciais de pequena dimensão (com área útil de pavimento inferior a 500m²). É possível estimar rapidamente o SRI do edifício, demorando 1 hora ou menos com esta abordagem ^[28].
- **Método B – Detalhado:** É uma abordagem mais detalhada, com um catálogo que cobre todos os serviços que devem ser quantificados. O seu foco é em edifícios não residenciais. A avaliação do SRI com este método pode demorar da metade de um dia até 1 dia ^[28].
- **Método C – Monitorizado:** Nesta abordagem são requeridos dados medidos de um edifício residencial ou não residencial ocupado, num período mínimo de 1 ano. Este método possibilita determinar o desempenho real de um edifício, contudo não pode ser efetuado na fase de projeto. É visto, atualmente, como uma potencial ferramenta no futuro na emissão de EC ^[28].

7.2. Folha de cálculo com método B

Foi utilizado o método B para calcular o SRI uma vez que é uma abordagem detalhada e com um foco nos edifícios não residenciais. Poderia ter-se recorrido ao método A, contudo esta metodologia aborda edifícios não residenciais de pequena dimensão, excluindo o caso de Solar XXI.

A folha de cálculo para o SRI tem diversas subfolhas, contudo só existem 4 subfolhas onde é possível introduzir e/ou alterar informações. As restantes subfolhas é onde as variáveis e os seus valores-padrão estão inseridos. A subfolha “*Building Information*” é onde se insere as informações gerais sobre o edifício. É identificado o tipo de edifício (residencial ou não residencial) e o uso desse edifício (casa de família única, escritório, edifícios educacionais, de saúde, entre outros). Esta informação é importante para a seleção de fatores de ponderação apropriados para o edifício. Estes fatores são distintos para os edifícios residenciais e os não residenciais, contudo não existe ainda diferenciação entre os diferentes usos de edifício. Por exemplo, um escritório tem os mesmos fatores de ponderação que um hospital. Esta diferenciação deverá ser implementada no futuro uma vez que, de momento, existe falta de dados necessários. Deve-se indicar o estado do edifício, se é renovado (sofreu grandes atualizações energéticas como insulação térmica e/ou atualizações dos sistemas técnicos do edifício) ou se é original (sem grandes mudanças energéticas). De seguida, assinala-se o país onde o edifício está localizado. Esta informação é essencial uma vez que permite incluir o edifício na zona climática adequada, o que afeta os fatores de ponderação. Os fatores de ponderação podem assumir valores-padrão fornecidos pela folha de cálculo ou podem ser definidos pelo utilizador. Seguidamente, existe um processo de triagem no qual se menciona se o edifício possui ou não os sistemas técnicos indicados (aquecimento, AQS, arrefecimento, ventilação controlada, iluminação, envolvente dinâmica, produção de eletricidade e carregamento de veículos elétricos). A seguir, cada sistema técnico é especificado sobre o tipo de produção, armazenamento, entre outros. A informação inserida esta subfolha está exposta nas [Tabelas 21, 22 e 23](#), seja para o edifício ou para as salas de teste.

Tabela 21: Informações gerais do edifício e das salas de teste

	EDIFÍCIO	SALAS DE TESTE
Building type	Non residential	Non residential
Building usage	Office	Office
Location	Portugal	Portugal
Climate Zone	South Europe	South Europe
Net floor area of the building	1 000-10 000 m ²	< 200 m ²
Year of construction	1990-2020	> 2010
Building state	Renovated	Renovated
Preferred weighting	Default	Default

Tabela 22: Processo de triagem do edifício e das salas de teste

Technical Systems	Present in building?	Present in test room?
Heating	Yes	Yes
Domestic Hot Water	Yes	No
Cooling	Yes	Yes
Controlled Ventilation	Yes	Yes
Lighting	Yes	Yes
Dynamic Envelope	No	Yes
Electricity: renewables & storage	Yes	Yes
Electric Vehicle Charging	No	No

Tabela 23: Detalhes sobre os sistemas técnicos do edifício e das salas de teste

	EDIFÍCIO	SALAS DE TESTE
Heating		
<i>Emission type</i>	Other hydronic system (e.g. radiators)	Other hydronic system (e.g. radiators)
<i>Production type</i>	Central heating – combustion	Central heating – other
<i>Thermal energy storage</i>	Storage present	Storage present
<i>Multiple heat generators</i>	Multiple generators	Multiple generators
Domestic Hot Water		
<i>Production type</i>	Non-electric	-
<i>Storage present</i>	Storage present	-
<i>Solar Collector</i>	Solar collector present	-
Cooling		
<i>Emission Type</i>	Non-hydronic system (e.g.all-air)	Non-hydronic system (e.g.all-air)
<i>Thermal energy storage</i>	No storage present	No storage present
<i>Multiple generators</i>	Multiple generators	Multiple generators
Controlled Ventilation		
<i>System type</i>	Controlled natural ventilation	Mechanical ventilation
<i>Heat recovery</i>	-	Heat recovery
<i>Space heating</i>	-	Used for space heating
<i>System sub-type</i>	-	All-air
Dynamic Envelope		
<i>Movable shades, screens or blinds</i>	-	Present
Electricity: renewables & storage		
<i>On-site renewable electricity generations</i>	On-site renewable electricity generation	On-site renewable electricity generation
<i>Storage of on-site generated electricity</i>	No storage present	No storage present
<i>CHP (Combined Heat and Power)</i>	No CHP	No CHP

Na subfolha “*Calculation Sheet*” é onde se encontra a avaliação dos serviços. Em cada linha existe um serviço de cada sistema técnico do local a avaliar e, cada serviço deve ser classificado pelo seu nível de funcionalidade. Não é necessário avaliar os serviços que não existem já que estes não têm qualquer efeito. O nível de funcionalidade 0 é assumido quando o serviço não é automatizado, ou seja, quando é manual. O nível de funcionalidade 1 corresponde a serviço minimamente inteligente e o nível de funcionalidade 4 equivale ao serviço muito inteligente. Em cada serviço deve ser indicada a porção do nível de funcionalidade inserida. Por exemplo, só os corredores de um dado edifício têm iluminação automática e no restante edifício é necessário ligar/desligar e regular manualmente as luzes. Neste caso, calcula-se a percentagem correspondente aos corredores, dividindo a área dos corredores pela área útil da superfície do edifício e indica-se o seu nível de funcionalidade. Depois, insere-se o nível de funcionalidade para o restante edifício. Para fins de teste, deve ser providenciado o tempo necessário para determinar o nível de funcionalidade para cada serviço, incluindo o tempo necessário para uma inspeção visual e/ou o tempo necessário para verificar os dados técnicos. Existe, ainda, uma coluna opcional onde poderão ser inseridos comentários, notas, explicações, notificações e dificuldades

encontradas durante a avaliação. Neste caso, o edifício e as salas de teste foram avaliados separadamente uma vez que apresentam dois níveis de monitorização e automatização completamente distintos. A classificação dos serviços do edifício e das salas de teste está apresentada na [Tabela 24](#). Pode-se averiguar os possíveis níveis de funcionalidade para os serviços existentes no Solar XXI no Anexo C.

Tabela 24: Avaliação dos serviços providenciados pelos sistemas técnicos do edifício e das salas de teste

		Service	Main Functionality Level (Edifício)	Share	Main Functionality Level (Salas de teste)	Share
Heating	Heat control – demand side	Heat emission control	4	100%	4	100%
	Heat control – demand side	Control of distribution fluid temperature	2	100%	2	100%
	Heat control – demand side	Control of distribution pumps in networks	2	100%	1	100%
	Heat control – demand side	Intermittent control of emission and/or distribution	1	100%	1	100%
	Heat control – demand side	Thermal Energy Storage for building heating (excluding TABS)	0	100%	0	100%
	Heat control – demand side	Building preheating control	1	100%	1	100%
	Control heat production facilities	Heat generator control	0	100%	-	-
	Control heat production facilities	Heat system control according external signal	0	100%	0	100%
	Control heat production facilities	Sequencing of different heat generators	1	100%	2	100%
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding heating system performance	3	100%	3	100%
DHW	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (using hot water generation)	1	100%	-	-
	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	1	100%	-	-
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding DHW performance	3	100%	-	-
Cooling	Cooling control-demand side	Cooling emission control	0	100%	4	100%
	Cooling control-demand side	Intermittent control of emission and/or distribution	0	100%	3	100%
	Cooling control-demand side	Interlock between heating and cooling control of emission and/or distribution	0	100%	1	100%
	Control cooling production facilities	Generator control for cooling	0	100%	0	100%
	Control cooling production facilities	Sequencing of different cooling generators	0	100%	2	100%
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding cooling system performance	0	100%	2	100%

Ventilation	Air flow control	Supply air flow control at the room level	0	100%	4	100%
	Air flow control	Adjust the outdoor air flow or exhaust air rate	0	100%	3	100%
	Air flow control	Air flow or pressure control at the air handler level	-	-	4	100%
	Air temperature control	Room air temp. control (all-air system)	-	-	2	100%
	Air temperature control	Heat recovery control: prevention of overheating	-	-	1	100%
	Air temperature control	Supply air temperature control	-	-	2	100%
	Free cooling	Free cooling with mechanical ventilation system	-	-	1	100%
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding IAQ	3	100%	3	100%
Lighting	Artificial lighting control	Occupancy control for indoor lighting	3	100%	3	100%
	Control artificial lighting power based on daylight levels	Control artificial lighting power based on daylight levels	3	100%	3	100%
DE	Window control	Window solar shading control	-	-	3	100%
	Window control	Window open/closed control, combined with HVAC system	-	-	0	100%
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding performance	-	-	0	100%
Electricity	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding energy generation	3	100%	3	100%
	DER - Storage	Storage of locally generated energy	0	100%	0	100%
	DER - Optimization	Optimizing self-consumption of locally generated energy	0	100%	0	100%
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding stored electricity	-	-	-	-
M&C	HVAC interaction control	Run time management of HVAC systems	1	100%	1	100%
	Fault detection	Detecting faults of TBS and providing support to the diagnosis of these faults	1	100%	1	100%
	TBS interaction control	Occupancy detection: connected services	1	100%	2	100%
	Feedback – Reporting Information	Central reporting of TBS performance and energy use	2	100%	3	100%
	Smart Grid Integration	Smart Grid Integration	0	100%	0	100%
	Feedback – Reporting Information	Reporting information regarding DSM	0	100%	0	100%
	Override control	Override of DSM control	0	100%	0	100%

O principal sistema de aquecimento do edifício e das salas de teste consiste em radiadores que funcionam individualmente de acordo com as condições térmicas existentes dentro da divisão, o valor da temperatura inserida na consola e a ocupação. O aquecimento ambiente ronda sempre ao redor da temperatura desejada pelo ocupante, sendo independente de outros fatores como a temperatura exterior. É possível programar um horário fixo de aquecimento para cada divisão. É, igualmente, possível aquecer previamente a divisão de forma remota, ligando ou programando o aquecimento antes da chegada dos ocupantes. O sistema é constante e independente dos sinais externos como a tarifa de eletricidade, de gás, energia disponível na rede e, dos sinais internos como a previsão de procura térmica. Os geradores de calor são priorizados de acordo com uma lista fixa no edifício, o solar térmico antes da caldeira, contudo é possível escolher entre diferentes configurações de aquecimento na central térmica (Capítulo 5.1.2.2). Já nas salas de teste, os geradores são usados de acordo com uma lista de prioridades dinâmica baseada na eficiência corrente, na capacidade dos geradores, etc., todavia só é possível ligar ou desligar os radiadores. O armazenamento de energia térmica tem uma operação contínua, sem qualquer horário programado pelo que o nível atribuído é o mínimo, seja no edifício ou nas salas de teste. A informação fornecida aos ocupantes e aos gestores sobre o sistema de aquecimento consiste numa avaliação do desempenho com avaliação comparativa.

O edifício possui AQS que se baseiam na água aquecida pelos coletores solares. Apesar desta água quente servir principalmente para o aquecimento ambiente, pode ser usada para fins sanitários quando existe excesso de produção. Como as salas de teste são gabinetes, não possuem AQS. Existe controlo do carregamento do armazenamento de AQS e, este está relacionado com a temperatura de estagnação e as cortinas dos coletores. A informação concedida aos ocupantes e aos gestores sobre a avaliação do desempenho de AQS inclui avaliação comparativa.

Tanto o edifício como as salas de teste possuem alguns sistemas de arrefecimento passivos que recorrem aos tubos enterrados, ao BIPV (extrai calor pelos registos) e aos estores externos (evita sobreaquecimento). A única diferença consiste no facto de que os sistemas das salas de teste foram automatizados. Em cada sala de teste, os ventiladores que admitem ar fresco dos tubos enterrados e os ventiladores existentes nas caixas de ar do BIPV funcionam em função da temperatura interior, a temperatura exterior e a ocupação. Este controlo automático inclui avaliação da procura de arrefecimento. O arrefecimento depende de uma temperatura constante, a inserida na consola pelo ocupante. Existe uma interligação parcial entre o controlo de aquecimento e arrefecimento nas salas de teste quando se considera o sistema do BIPV. Este sistema está automatizado de modo a aquecer/recuperar o calor para satisfazer as necessidades dos ocupantes pelo que quando a temperatura interior alcança a definida, o sistema inicia a ventilação pelo exterior para evacuar o calor e evitar sobreaquecimento. Os vários geradores de arrefecimento são priorizados com base na eficiência e nas características dos geradores. A informação fornecida sobre o desempenho do sistema de arrefecimento consiste nos dados atuais e históricos.

Ao nível do edifício só existe ventilação natural controlada que não se encontra automatizada, contudo nas salas de teste já existe ventilação mecânica automatizada. Nas salas de teste, o controlo do fornecimento do fluxo de ar depende da procura local baseada na qualidade de ar estimada pelos sensores de CO₂ e da temperatura exterior. Quando a temperatura interior está dentro do intervalo confortável definido e a concentração de CO₂ interior está abaixo do valor estabelecido, a ventilação desliga-se automaticamente. Este fluxo de ar local é regulado por registos do BIPV, da porta e dos tubos enterrados. A recuperação de calor é modulada com base nos sensores existentes na exaustão de ar. Existe a possibilidade de arrefecimento noturno com base na programação de um horário. A informação concedida é relativa à monitorização em tempo real e histórica da QAI disponível para os ocupantes e, deteção de falhas ou manutenção baseada nos sensores internos.

A iluminação artificial existente é a mais inteligente possível, tanto no edifício como nas salas de teste. As fontes de iluminação artificial ligam-se e desligam-se automaticamente consoante a existência de ocupação detetada pelo sensor de presença. A potência das fontes de iluminação artificial é regulada de acordo com o nível de iluminação (natural) existente.

As salas de teste são o único espaço com a envolvente dinâmica automatizada. Os estores externos são regulados automaticamente de acordo com radiação solar incidente, o nível de iluminação existente no interior e no exterior e, do HVAC. Não existe automatização das janelas e não existe qualquer fornecimento de informação sobre este sistema aos ocupantes.

O *feedback* reportado aos ocupantes e aos gestores sobre a produção de energia consiste na avaliação do desempenho com avaliação comparativa. No entanto, não existe armazenamento da energia produzida nem autoconsumo otimizado em função da energia gerada no local.

Existe uma indicação central no BACS e no SCADA quando existem falhas detetadas nos sistemas técnicos do edifício e alarmes de parâmetros requeridos pelos utilizadores. Enquanto que no edifício a deteção de ocupação só serve para funções individuais como a iluminação, nas salas de teste existe uma deteção centralizada que afeta diversos serviços técnicos como a iluminação e o aquecimento. No entanto, em ambos os espaços existe uma gestão individual dos sistemas dentro do período delimitado e com base nas condições pré-definidas. No edifício, é possível gerar relatórios sobre o desempenho de TBS e uso de energia submedida em tempo real ou outras métricas de desempenho para pelo menos dois domínios. Já nas salas de teste existe indicação em tempo real de uso de energia submedida ou outras métricas de desempenho para todos os sistemas técnicos. Não existe nenhuma integração de rede inteligente pelo que não existe nenhuma harmonização entre a rede e o edifício.

Na subfolha “*Results*” são apresentados o valor de SRI calculado considerando os fatores de ponderação e os níveis atribuídos; o peso de cada critério de impacto tendo em conta os domínios; e o peso de cada domínio considerando os critérios. Existem 2 gráficos, um para mostrar a pontuação de cada critério de impacto e outro para ilustrar a pontuação de cada domínio. O cálculo de SRI, tanto do edifício como das salas de teste, foi realizado tendo em conta os algoritmos de controlo dos sistemas técnicos propostos e apresentados no Capítulo 5, que ainda estão em fase de testes ou de implementação.

Na subfolha “*Feedback*” são apresentadas as informações gerais do edifício e o valor total de SRI obtido. Seguidamente, é apresentada uma série de questões para os avaliadores responderem sobre a folha de cálculo e o espaço avaliado. Como esta folha de cálculo é um teste *beta*, estas respostas vão fornecer uma ideia geral aos seus autores sobre a opinião dos avaliadores, das informações ou serviços que consideraram que faltavam na folha, quanto tempo foi necessário para a avaliação, comentários ou notas adicionais.

Na subfolha “*Weightings*” é onde o utilizador pode definir os fatores de ponderação de cada critério e de cada domínio de acordo com valores que considera adequados. Deve-se ter em atenção que estes dados inseridos vão afetar consideravelmente o valor do SRI uma vez que entram no cálculo deste. Nesta subfolha também se encontram os fatores de ponderação padrão para cada tipo de edifício e para cada zona climática. Nas Tabelas 25 e 26 estão expostos os fatores padrão facultados pela folha de cálculo.

Tabela 25: Fatores de ponderação padrão dos critérios de impacto

Edifício		Ocupantes				Rede
<i>Poupanças de energia</i>	<i>Manutenção</i>	<i>Conforto</i>	<i>Conveniência</i>	<i>Bem-estar & saúde</i>	<i>Informação aos ocupantes</i>	<i>Flexibilidade</i>
17%	17%	8%	8%	8%	8%	33%

Tabela 26: Fatores de ponderação padrão dos domínios

<i>Southern Europe</i>	<i>Poupanças</i>	<i>Manutenção</i>	<i>Conforto</i>	<i>Conveniência</i>	<i>Bem-estar & saúde</i>	<i>Informação</i>	<i>Flexibilidade</i>
<i>Aquecimento</i>	31%	31%	13%	10%	-	11%	29%
<i>AQS</i>	10%	10%	13%	10%	-	11%	10%
<i>Arrefecimento</i>	11%	11%	13%	10%	-	11%	11%
<i>Ventilação</i>	9%	9%	13%	10%	40%	11%	8%
<i>Iluminação</i>	12%	12%	13%	10%	-	-	11%
<i>ER & armazen.</i>	2%	2%	-	10%	-	11%	2%
<i>Envolvente din.</i>	5%	5%	13%	10%	40%	11%	5%
<i>Carregamento EV</i>	-	-	-	10%	-	11%	5%
<i>Mon. & Controlo</i>	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%

Na Tabela 26 estão apresentados os fatores de ponderação para os domínios. Os fatores de ponderação dentro da linha laranja são fixos enquanto que os fatores dentro da linha amarela são valores equitativos. Já os fatores de ponderação que se encontram no interior da linha verde são os valores padrão para um edifício não residencial que se encontra no Sul da Europa. Todos os valores existentes nesta tabela são fatores padrão fornecidos pela folha de cálculo. Verifica-se que o aquecimento é o domínio mais relevante nas poupanças energéticas, na manutenção e na flexibilidade. Já no conforto e na conveniência tem um peso equitativo com os outros domínios, contudo o aquecimento não afeta a saúde dos ocupantes num edifício não residencial no Sul da Europa segundo os fatores de ponderação padrão. As AQS têm sempre um peso aproximadamente igual em todos os critérios, exceto na saúde onde não é relevante. O arrefecimento reflete as AQS uma vez que afeta de modo similar todos os critérios exceto a saúde onde também não é pertinente. A ventilação é um domínio que tem impacto em todos os critérios, contudo tem um peso que varia consoante o critério. Em todos os critérios existentes, tem um peso que varia pouco, porém na saúde é um dos domínios com maior peso. A iluminação possui um impacto similar em todos os critérios, exceto saúde e na informação onde não é contabilizada. A produção renovável, a envolvente dinâmica e o carregamento de veículos elétricos são domínios mais relevantes para as necessidades dos ocupantes, contudo não são relevantes para a operação do edifício ou para as necessidades da rede. A monitorização e controlo é um domínio muito importante para o edifício, para os ocupantes e, também, para a rede.

A avaliação efetuada dos modelos integrados para controlo e gestão do edifício e das salas de teste, pela folha de cálculo SRI, será apresentada no Capítulo 9. Deste modo, será possível averiguar o impacto originado pelas diferenças existentes entre os níveis de automatização do edifício e das salas de teste na aptidão inteligente de cada espaço e na respetiva capacidade de adaptar a sua operação consoante as necessidades existentes do edifício, dos ocupantes e da rede. A avaliação efetuada foi realizada com base nos algoritmos de controlo propostos e não no nível de automatização existente atualmente no edifício e nas salas de teste, porque estes ainda estão em fase de teste com sistemas a serem automatizados e ajustados.

8. Avaliação de conforto e QAI

O conforto térmico é uma componente importante do edifício uma vez que reflete muito sobre a sua capacidade de se adaptar às necessidades dos ocupantes mesmo em diferentes estações sazonais. As condições do ambiente que afetam o conforto são a temperatura do ar, a humidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante (temperatura dos objetos e paredes ao redor) ^[29]. Estes parâmetros são relativamente fáceis de controlar com os equipamentos adequados. No entanto, as condições pessoais dos ocupantes como o nível de atividade, o nível de roupa e as expectativas que têm sobre o conforto providenciado pelo edifício são mais difíceis de alterar. O nível de atividade num escritório varia de 1 a 1.7 met sendo que o nível médio é de cerca de 1.2 met (atividade sedentária) e, o nível de roupa varia entre 0.5 clo (verão) a 1 clo (inverno) ^[29]. Uma avaliação objetiva do conforto e da QAI pode ser efetuada a partir dos dados reais medidos de parâmetros relevantes como a temperatura, a humidade relativa e a concentração de dióxido de carbono. Existem diversos modelos de avaliação de conforto como o modelo de *Fanger*, EN ISO 7730, as zonas de conforto ASHRAE, as zonas de conforto de *Givoni* e o modelo adaptativo padrão EN15251. O modelo de *Fanger* baseia-se no facto de que o intervalo de temperatura operativa confortável depende do nível de atividade e do nível de roupa ^[29]. A temperatura operativa depende da temperatura do ar, da temperatura radiante e da velocidade do ar. Na [Figura 39](#) encontra-se um gráfico que permite estimar esse intervalo de temperatura operativa. Apura-se que a temperatura mínima de temperatura operativa confortável é cerca de 19°C (1clo, 1.7 met) e a temperatura máxima confortável é 26°C (0.5 clo, 1 met).

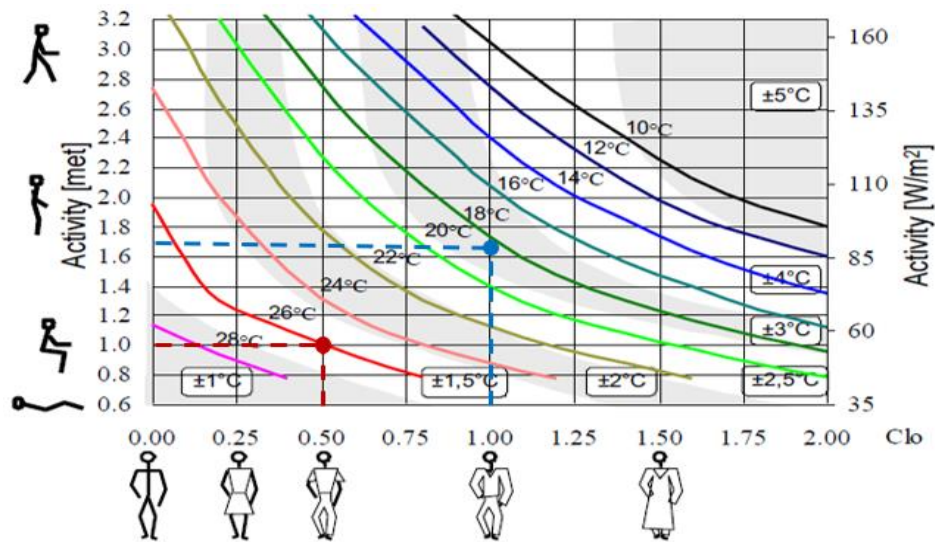


Figura 39: Temperatura operativa aceitável pelo modelo de Fanger ^[29]

O modelo ASHRAE 55:2017 fornece intervalos de temperatura aceitável classificados em 2 categorias: limites de aceitabilidade de 80% e de 90%. Em cada caso refere-se à porção dos ocupantes satisfeitos nesse intervalo de temperatura. Neste modelo adaptativo de 80% de aceitabilidade são fornecidas equações que relacionam a média das temperaturas verificadas no exterior nos 7 dias anteriores ao momento de avaliação do conforto térmico e a temperatura interior confortável ^[30]:

$$T_{int,c} = 0.31T_{ext} + 17.8 \quad (8.1)$$

$$T_{int,max} = T_{int,c} + 3.5 \Leftrightarrow T_{int,max} = 0.31T_{ext} + 21.3 \quad (8.2)$$

$$T_{int,min} = T_{int,c} - 3.5 \Leftrightarrow T_{int,min} = 0.31T_{ext} + 14.3 \quad (8.3)$$

Se num dado instante, a temperatura interior estiver no intervalo confortável calculado pela temperatura exterior [°C], então existem condições de conforto para os ocupantes. Já no caso da temperatura interior ser superior à $T_{int,max}$ [°C] existe sobreaquecimento e, se for inferior à $T_{int,min}$ [°C] existe sobreaquecimento.

O modelo EN15251 delimita o intervalo de temperatura aceitável em função do tipo de edifício e da sua categoria. Neste caso, o Solar XXI trata-se um escritório único e com categoria II (nível de expectativa de conforto normal e, usado para edifícios novos ou renovados) [29]. Pela [Figura 40](#) retira-se que a temperatura operativa confortável para o Solar XXI está no intervalo entre 20°C e 26°C.

Type of building/ space	Category	Operative temperature °C	
		Minimum for heating (winter season), ~ 1,0 clo	Maximum for cooling (summer season), ~ 0,5 clo
Residential buildings: living spaces (bed rooms, drawing room, kitchen etc) Sedentary ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Residential buildings: other spaces: storages, halls, etc) Standing-walking ~ 1,6 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Single office (cellular office) Sedentary ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Landscape office (open plan office) Sedentary ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0

Figura 40: Temperatura operativa aceitável pelo EN15251 [29]

Já a QAI de um edifício depende das pessoas (produção de CO₂, emissão de vapor por transpiração, odor corporal), outras fontes internas (COV, ozono, cheiro de tinta, etc.) e fontes externas (PMs, CO, etc.) [31]. Portanto, os parâmetros essenciais para existir uma boa QAI são a taxa de renovação de ar fresco e a concentração de dióxido de carbono. Se existir uma ventilação adequada, a concentração de dióxido de carbono não é superior ao limite máximo na maior parte do tempo em que existe ocupação. Para tal é necessário saber qual deve ser a taxa de renovação de ar e, existem alguns métodos para calcular este parâmetro. Um dos métodos para calcular a taxa de renovação é pela seguinte equação [31]:

$$\dot{V} \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{P \left[\frac{m^3}{h} \right]}{(C_i [ppm] - C_o [ppm]) \times 10^{-6}} \quad (8.4)$$

Na [Equação 8.4](#) calcula-se pelo Método Analítico a taxa mínima de ar fresco por pessoa, em m³/h, a partir do CO₂ produzido por pessoa (P), do CO₂ máximo admissível no interior (C_i) e do CO₂ existente no exterior (C_o). Para o nível típico de atividade num escritório (1.2 met), cada pessoa produz cerca de 0,31 L/min de CO₂ [32]. Deste modo, cada pessoa produz 18,6 L/h de CO₂ num escritório. No Solar XXI existe uma ocupação máxima de 20 pessoas [13]. A concentração máxima possível no interior é de 1 250ppm (Limiar de Proteção) [32] e assume-se que a concentração exterior é aproximadamente 400ppm [31]. Pela [Equação 8.5](#) infere-se que o caudal mínimo de ar novo no Solar XXI deve ser cerca de 438 m³/h.

$$\dot{V} = \frac{0,0186 \times 20}{(1250 - 400) \times 10^{-6}} \approx 438 \text{ m}^3/\text{h} \quad (8.5)$$

Portanto, existem diferentes métodos analíticos para quantificar o conforto e a QAI sendo que cada abordagem se baseia em princípios diferentes. Cada metodologia pode fornecer resultados diferentes pelo que depende de uma pessoa adotar um método que seja o mais adequado à situação e ao edifício.

É possível recorrer aos questionários de avaliação da ocupação para entender a satisfação dos ocupantes relativamente à qualidade do ambiente interior. Isto também possibilita que os ocupantes identifiquem problemas específicos de desconforto ou mau funcionamento e, forneçam sugestões pertinentes para melhorar o desempenho energético e/ou o conforto. Os ocupantes podem referir fatores e parâmetros que influenciam o conforto que não foram considerados durante a monitorização do edifício visto que existem diferentes abordagens para avaliar o conforto. Para estimar o conforto térmico, os questionários devem ser configurados para diferentes alturas do ano com variabilidade térmica considerável. Deste modo, a variação sazonal do local onde o edifício se encontra é abrangida e, é possível apurar se o conforto é significativamente afetado pela variação estacional, se o edifício proporciona condições de conforto para essas diferentes estações. Não interessa o tipo de questionário, seja o pontual ou o de satisfação geral, deve-se ter em consideração que os resultados são subjetivos e influenciados pelo nível de atividade, quantidade e tipo de roupas usadas, entre outros parâmetros intrínsecos aos ocupantes.

9. Resultados

A instalação, substituição e calibração de equipamentos de monitorização e de controlo do edifício tiveram como consequência um maior consumo, tornando os meses finais de 2019 e os meses iniciais de 2020 um período atípico. Adicionalmente, houve a existência de uma situação incomum gerada pela pandemia de COVID-19. A declaração do estado de emergência em todo o país desde 18 de março até 2 de maio impactou a ocupação do Solar XXI nesse período pelo que o consumo energético do edifício sofreu mudanças drásticas. Inclusive após o fim do estado de emergência foram impostas medidas de segurança que impediram a normalização do edifício. Deste modo, os resultados obtidos desde setembro de 2019 até junho de 2020 não podem ser considerados característicos do edifício.

9.1. Monitorização

Nesta secção são apresentados os dados monitorizados do edifício e das salas de teste. Estes dados foram obtidos pelo *Power Monitoring Expert*, o SCADA existente no Solar XXI e pelo antigo sistema de monitorização.

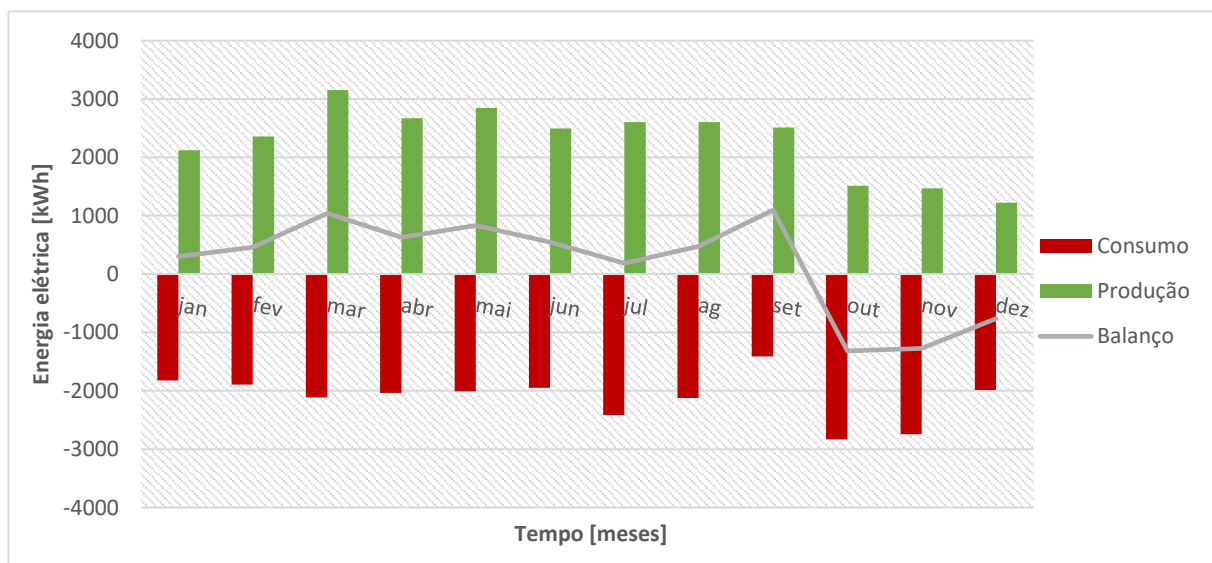


Figura 41: Consumo e produção elétricos no Solar XXI em 2019

Na [Figura 41](#) estão demonstrados o consumo elétrico, a produção elétrica e o balanço calculado pela diferença entre a produção e o consumo do Solar XXI, em kWh, no ano de 2019. Estes dados foram obtidos pelo antigo sistema de monitorização do edifício. O consumo máximo registou-se num mês de inverno (outubro), possivelmente devido à maior necessidade de aquecimento e iluminação artificial. O consumo mínimo registou-se em setembro. Já a produção máxima corresponde ao mês de março enquanto que a produção mínima ocorreu em dezembro, um mês de inverno com menor radiação solar incidente. Enquanto que até setembro, o balanço foi sempre positivo, de outubro a dezembro o balanço foi negativo visto que o consumo superou a produção nestes meses. Esta ocorrência deve-se provavelmente à instalação, manutenção e calibração dos novos equipamentos de monitorização e de controlo. Em 2019, a energia elétrica final consumida foi de 25 335 kWh/ano e a energia elétrica produzida foi de 27 548 kWh/ano. Como a produção elétrica total, 23 kWh/m².ano, supera claramente o consumo elétrico total, 21 kWh/m².ano, o balanço anual foi positivo na componente elétrica em 2019.

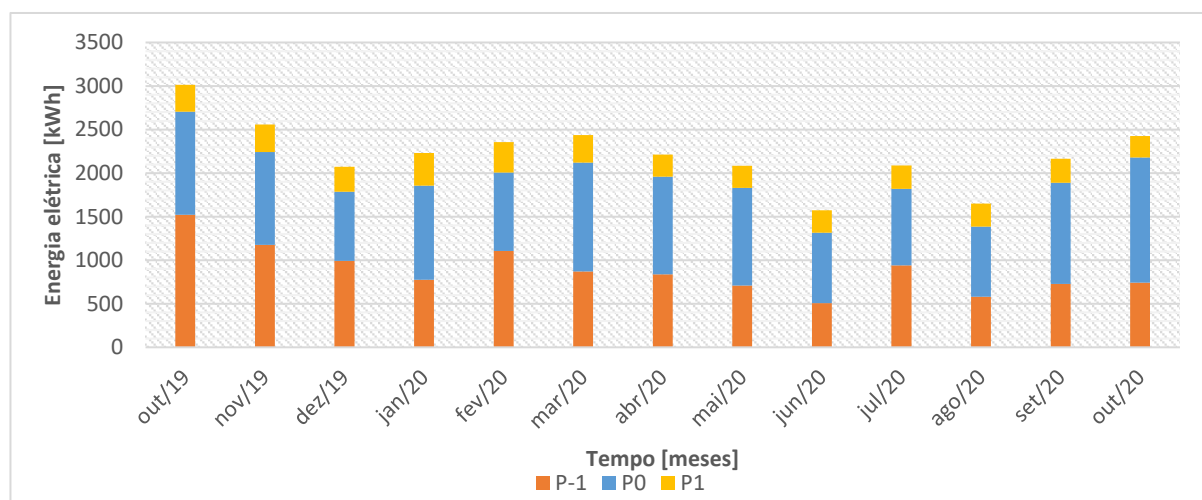


Figura 42: Consumo elétrico mensal por piso do Solar XXI

Na [Figura 42](#) observa-se o consumo elétrico mensal desagregado por piso do Solar XXI, em kWh, desde outubro de 2019 até outubro de 2020. Estes dados foram medidos pelo novo sistema de monitorização e obtidos pelo PME. A produção elétrica medida até 10 de setembro de 2020 inclui só a geração dos painéis da fachada, logo a produção elétrica registada no PME não representa efetivamente a produção existente até essa data. O consumo máximo do piso -1 ficou registado em outubro de 2019, 1 523 kWh/mês e o mínimo foi em junho, 506 kWh/mês. O consumo máximo do piso 0 foi em outubro de 2020, 1 436 kWh/mês e o consumo mínimo foi em dezembro com 794 kWh/mês. Já o consumo máximo do piso 1 foi de 376 kWh/mês em janeiro e, o consumo mínimo foi em outubro de 2020 com 247 kWh/mês. O consumo anual (outubro de 2019 a setembro de 2020) do piso -1 é 9 kWh/m².ano, do piso 0 é 10 kWh/m².ano e do piso 1 é 3 kWh/m².ano. Observa-se que o consumo elétrico alcançou o valor máximo em outubro de 2019, cerca de 3 015 kWh/mês, e o valor mínimo corresponde a junho com aproximadamente 1 573 kWh/mês. O consumo máximo em outubro de 2019 é possivelmente devido à maior necessidade de aquecimento, iluminação artificial e, a instalação e calibração dos novos equipamentos. Já em junho existe menor consumo por causa de inexistência ou menor necessidade de climatização, maior quantidade de luz natural que reflete no menor uso de iluminação artificial e, possivelmente da menor ocupação devido ao período de férias. Como o consumo elétrico perfaz 22 kWh/m².ano (out 2019 – set 2020), 46% do consumo elétrico anual deriva do piso térreo, 41% é graças ao piso enterrado e só 13% é devido ao piso 1. Afere-se, portanto, que os gabinetes e salas de reunião do piso 1 não têm um consumo elétrico significativo numa base anual. Já os laboratórios e a central térmica que se encontram no piso -1 possuem um consumo elétrico substancial enquanto que o piso 0 é responsável pela maior parte do consumo devido à existência de mais áreas comuns como as salas de reunião, o auditório, a sala dos computadores, etc.

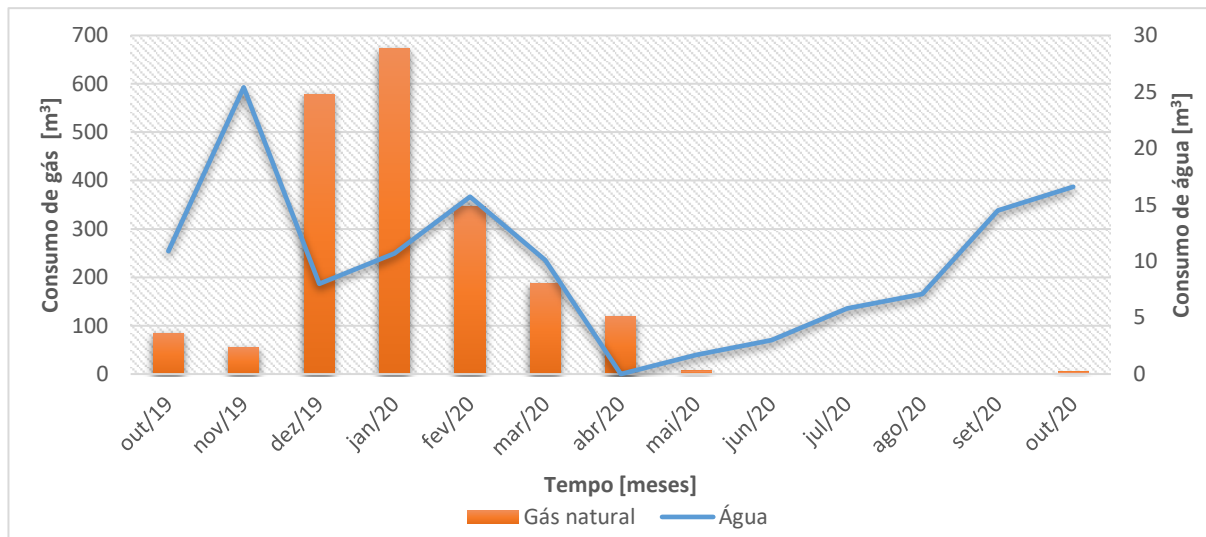


Figura 44: Consumo mensal de gás natural e água do Solar XXI

Na Figura 44 estão representados os consumos mensais de gás natural e água, em m³, desde outubro de 2019 até outubro de 2020. O consumo máximo de gás natural foi de 673 m³ em janeiro e o mínimo foi de 4 m³ em outubro de 2020 sendo que de junho até setembro não houve consumo. O gás natural é consumido só nos meses de inverno visto que é o sistema de apoio do aquecimento ambiente e as necessidades de aquecimento só existem no inverno. No dezembro e no janeiro foi necessário consumir mais gás natural dado que são meses com menor radiação solar que se traduz em menor produção solar térmica. Nos meses de verão não é necessário existir importação de gás natural devido à inexistência da necessidade de aquecimento. O consumo máximo de água foi de 25 m³ em novembro e o mínimo foi 2 m³ em maio, existindo consumo nulo de água em abril. O consumo anual de gás natural (out 2019 – set 2019) é cerca de 2 050 m³/ano, ou seja, aproximadamente 19,24 kWh/m².ano quando convertido. Já a água importada totaliza aproximadamente 113 m³/ano no período considerado.

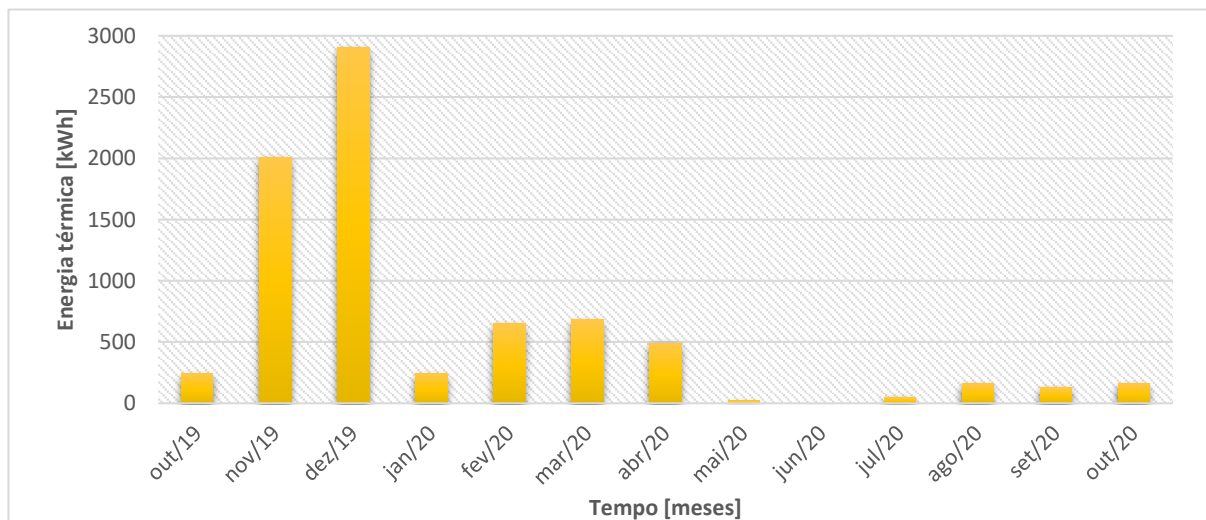


Figura 43: Produção solar térmica mensal do Solar XXI

Na Figura 43 estão expostos os dados de energia térmica produzida pelos coletores solares existentes na cobertura do Solar XXI, em kWh. A produção térmica máxima foi de 2 905 kWh/mês em dezembro e a produção mínima foi de 20 kWh/mês em maio sendo que a produção foi nula em junho. Supostamente, a produção térmica deveria ser superior nos meses de verão devido à maior radiação solar, todavia a instalação de cortinas protetoras nos coletores inibiu a produção nos meses em que as necessidades de aquecimento são inexistentes. A produção térmica anual ronda os 7 575 kWh/ano sendo que os coletores solares produzem cerca de 6,31 kWh/m².ano de energia térmica.

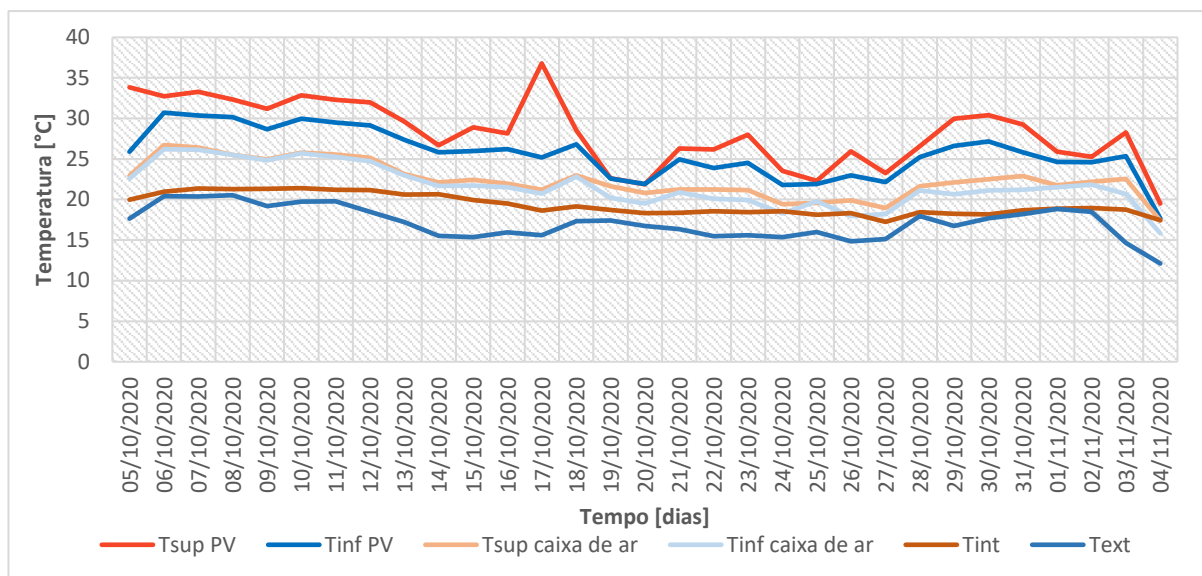


Figura 46: Temperaturas do BIPV, interior na TR2 e exterior

Na [Figura 46](#) estão apresentadas as temperaturas da superfície (superior e inferior) do módulo PV adjacente à TR2, as temperaturas das caixas de ar superior e inferior do BIPV, a temperatura interior da TR2 e a temperatura exterior, de 5 de outubro até 4 de novembro de 2020. Observa-se que a temperatura na parte superior do painel é sempre maior que a temperatura na parte inferior do mesmo. A temperatura na caixa superior é também sempre maior que a temperatura na caixa inferior devido à menor densidade do ar mais quente. Mesmo que a temperatura exterior tenha sido baixa ao longo deste período, a TR2 consegue-se manter-se numa temperatura ligeiramente maior graças aos sistemas de aquecimento e mas ou menos constante. Apesar da temperatura da caixa de ar superior ser relativamente alta, a temperatura superior do PV é claramente maior pelo que existem perdas substanciais de calor entre o módulo e o espaço de ar posterior. Logo, a recuperação de calor pelo BIPV é um sistema de aquecimento passivo razoável, contudo não muito eficiente devido às perdas de calor.

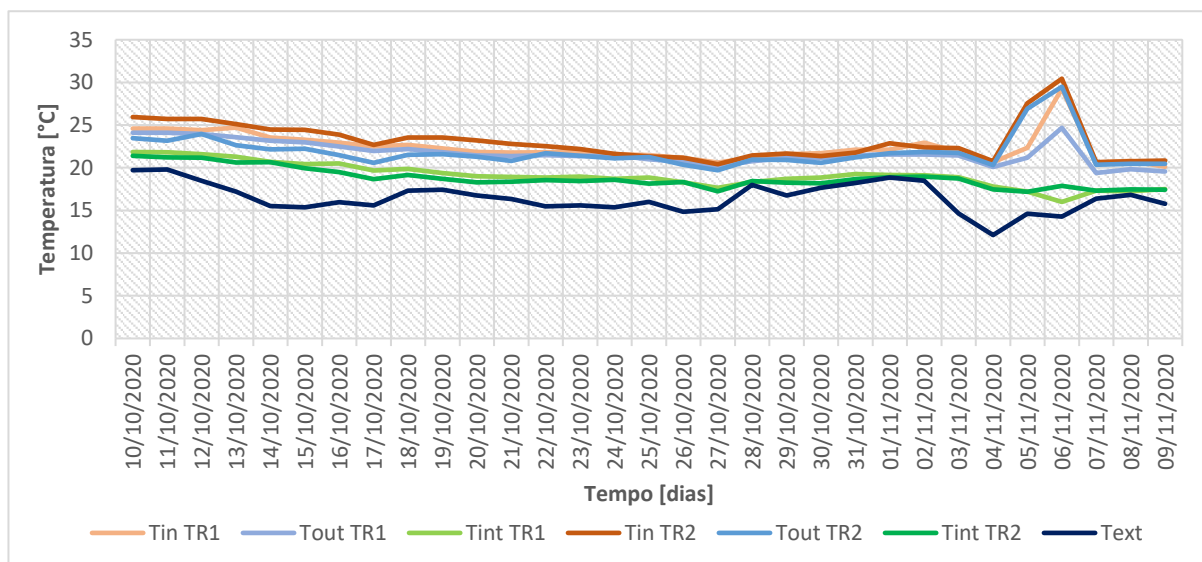


Figura 45: Temperaturas da água do radiador, interior nas salas de teste e exterior

Na [Figura 45](#) estão expostas as temperaturas da água à entrada e saída do radiador em cada sala de teste, a temperatura interior da TR1 e da TR2 e, a temperatura exterior, de 10 de outubro até 9 de novembro de 2020. As temperaturas da água à entrada são sempre superiores do que à saída já que houve transferência de calor para o ar da sala. Deste modo, as temperaturas no interior das salas de teste são sempre maiores e mais estáveis do que o exterior, assemelhando-se entre si.

9.2. Net ZEB Evaluation Tool

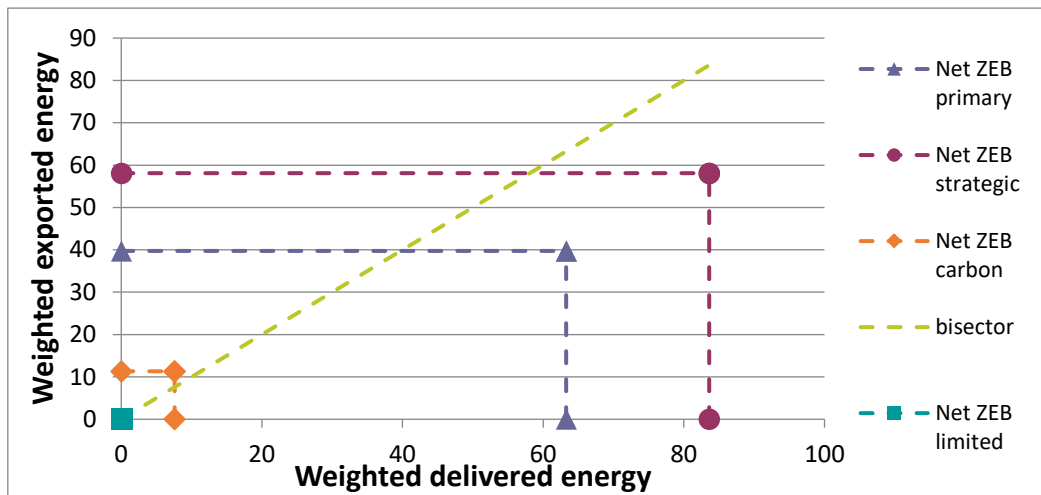


Figura 47: Balanço de importação/exportação monitorizado do edifício

O *Net ZEB limited* não foi calculado devido à inexistência do valor medido de energia importada para *plug loads*, ou seja, a energia consumida pelas tomadas. Já pela definição de *Net ZEB primary* e a de *strategic*, obteve-se um balanço de -23,5 e -25,5 kWh_{PE}/m².ano, respetivamente. Já pela definição de *Net ZEB carbon*, o balanço resultante foi de 3,7 kgCO_{2eq}/m².ano. Na Figura 47 é possível observar a bisettriz que representa o balanço energético nulo, quando a exportação ponderada é igual à importação ponderada. Como o balanço do *Net ZEB carbon* é positivo, o ponto encontra-se acima da bisettriz. Isto significa que o Solar XXI consegue compensar a emissão de gases com efeito de estufa associada à energia importada da rede com a produção renovável local livre de emissões. Já o balanço do *Net ZEB primary* e o de *strategic* é negativo pelo que os seus pontos estão localizados abaixo da bisettriz. A energia primária importada supera a energia exportada em cerca de 24 ou 26 kWh_{EP} por m² de edifício no ano considerado, dependendo dos fatores assumidos. Isto significa que do ponto de vista ecológico, o Solar XXI consegue adquirir o estatuto NZEB, contudo o edifício necessita de aumentar ligeiramente a sua produção ou diminuir um pouco o seu consumo para ser NZEB do ponto de vista energético. O custo operacional é negativo de modo que os prejuízos económicos derivados da energia importada pelo Solar XXI superam em aproximadamente 4 euros por m² de edifício os lucros gerados pela energia exportada, num ano.

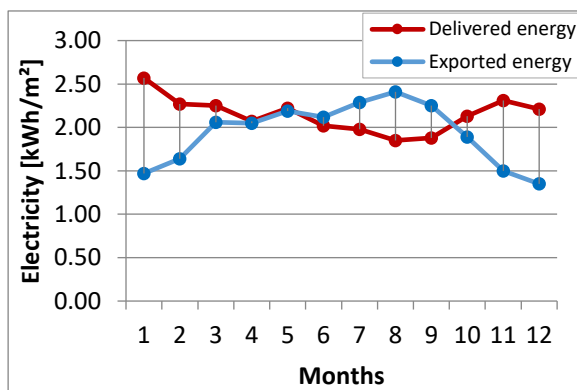


Figura 49: Correspondência de carga elétrica

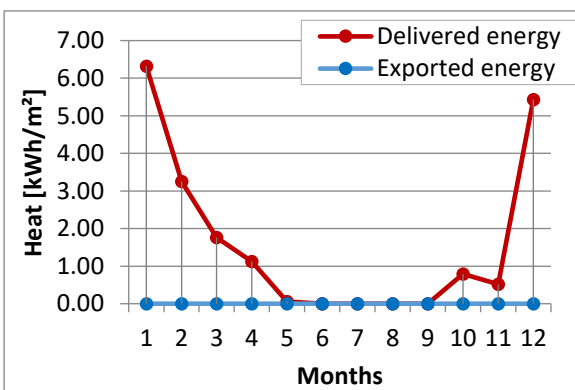


Figura 48: Correspondência de carga térmica

A correspondência de carga elétrica é de 86,1% pela Figura 49 e a correspondência de carga térmica é de 47% pela Figura 48. Isto significa que a produção elétrica local consegue satisfazer a maior parte do consumo elétrico, contudo apenas uma pequena parte do consumo associado ao aquecimento ambiente está coberto pela produção térmica dos coletores solares. Adicionalmente, existe exportação da eletricidade produzida enquanto que na energia térmica, existe apenas autoconsumo da produção.

9.3. SRI

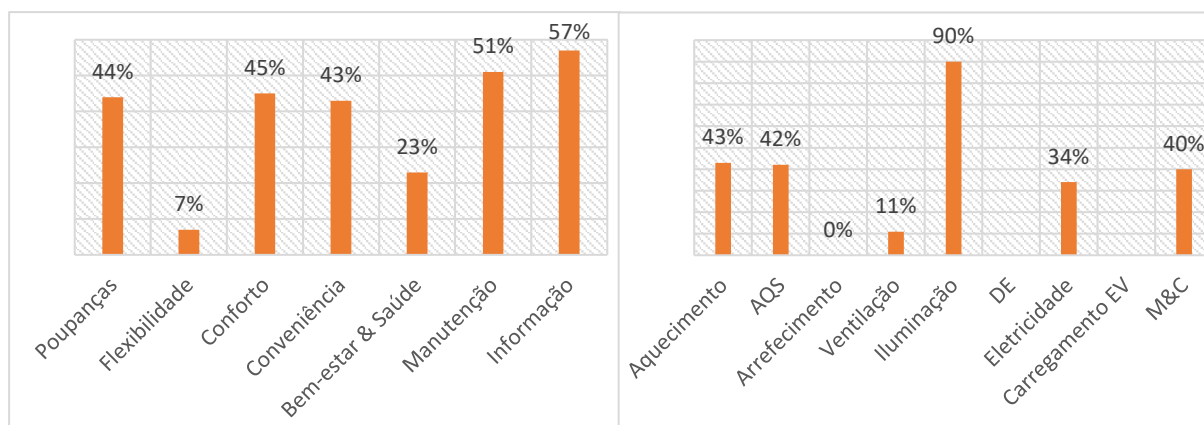


Figura 51: Classificação dos critérios de impacto do edifício **Figura 50:** Classificação dos domínios de impacto do edifício

O valor de SRI obtido para o edifício Solar XXI pela folha de cálculo foi 37%. Pela [Figura 51](#) verifica-se que o critério de impacto do edifício com maior classificação é a informação aos ocupantes já que com o PME é possível consultar os valores medidos, os dados históricos e verificar as tendências de diversos sistemas técnicos. Já o critério com menor classificação é a flexibilidade visto que não existe gestão da procura em função da carga da rede ou armazenamento da energia elétrica. Os domínios estão classificados na [Figura 50](#) e, nota-se que a iluminação é o sistema automatizado do edifício com maior valor de inteligência uma vez que opera em função da ocupação e da iluminação natural. Já os domínios menos inteligentes são o arrefecimento, que não é automatizado e, a envolvente dinâmica e o carregamento de EV (*Electric Vehicles*), sistemas que são inexistentes no edifício.

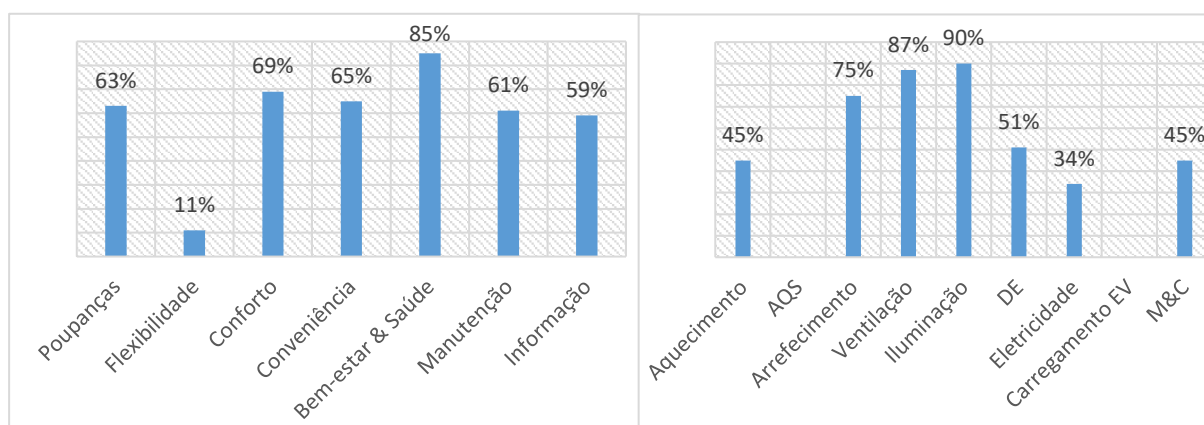


Figura 53: Classificação dos critérios de impacto das TR

Figura 52: Classificação dos domínios de impacto das TR

O valor de SRI obtido para as salas de teste pela folha de cálculo foi 56%. Na [Figura 53](#) observa-se que o critério de impacto com o maior valor é o bem-estar & saúde já que a operação automática dos sistemas depende essencialmente dos intervalos confortáveis definidos pelos ocupantes nas salas de teste, seja de temperatura, CO₂ ou outro parâmetro. O critério com a menor classificação continua a ser a flexibilidade. O domínio mais inteligente nas salas de teste, pela [Figura 52](#), é a iluminação que tem a mesma classificação que a do edifício uma vez que os algoritmos de controlo são muito semelhantes. Os domínios com a menor classificação são as AQS e o carregamento de EV dado que são serviços inexistentes nas salas de teste. De um modo geral, as classificações dos critérios e dos domínios das salas de teste são maiores do que as do edifício visto que o nível de monitorização e controlo das salas é claramente superior ao do edifício, como verificado nos Capítulos 4 e 5.

9.4. Conforto térmico e QAI

Foi possível estimar o conforto térmico e a qualidade do ambiente interior das salas de teste recorrendo a uma abordagem objetiva que utiliza os dados medidos de temperatura interior, em graus celsius, e de concentração de dióxido de carbono, em ppm, das salas de teste. Para tal foram usados dados registados no PME desde 1 de outubro de 2019 até 30 de setembro de 2020, possibilitando verificar o conforto e QAI numa base anual. A informação sobre a ocupação foi estimada pelos dados fornecidos pelos sensores de presença. De seguida, foi verificado quando a temperatura interior é inferior aos 19°C e quando é superior aos 26°C no período de ocupação, que são respetivamente os limites de conforto térmico mínimo e máximo estabelecidos pelo modelo de *Fanger* como descrito no Capítulo 8. Foi adotado este modelo uma vez que os limites deste são em função do nível de roupa e de atividade. Os resultados são aproximações mais ou menos precisas uma vez que houve erros no registo de dados, não existindo valores em algumas períodos.

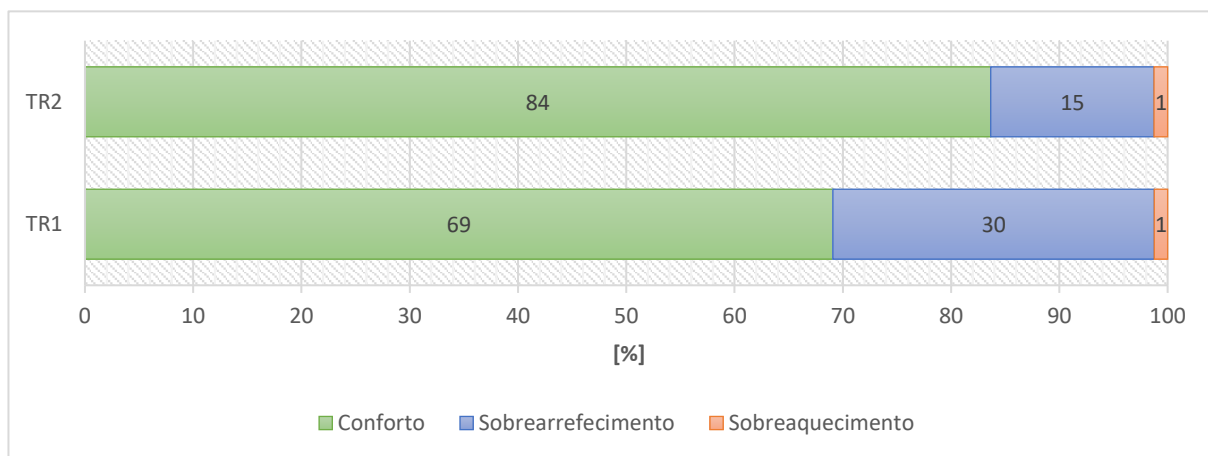


Figura 54: Percentagem de conforto e desconforto térmico anual nas salas de teste pelo modelo de Fanger

Pela [Figura 54](#) observa-se que, num ano, existe mais conforto do que desconforto térmico nas salas de teste durante o período de ocupação. Segundo estes resultados, o desconforto térmico deve-se principalmente ao sobrearrefecimento do que ao sobreaquecimento sendo que este último é uma ocorrência pouco frequente. Enquanto que na TR1 o conforto é aproximadamente 69% e o desconforto é cerca de 31% do período de ocupação, o conforto existe em 84% e o desconforto em 16% do tempo de ocupação da TR2. O conforto térmico da TR1 é inferior em 15% ao do TR2 visto que o sobrearrefecimento é cerca do dobro na TR1. Conclui-se que os sistema de aquecimento ambiente automatizados ainda não se encontram otimizados nas salas de teste.

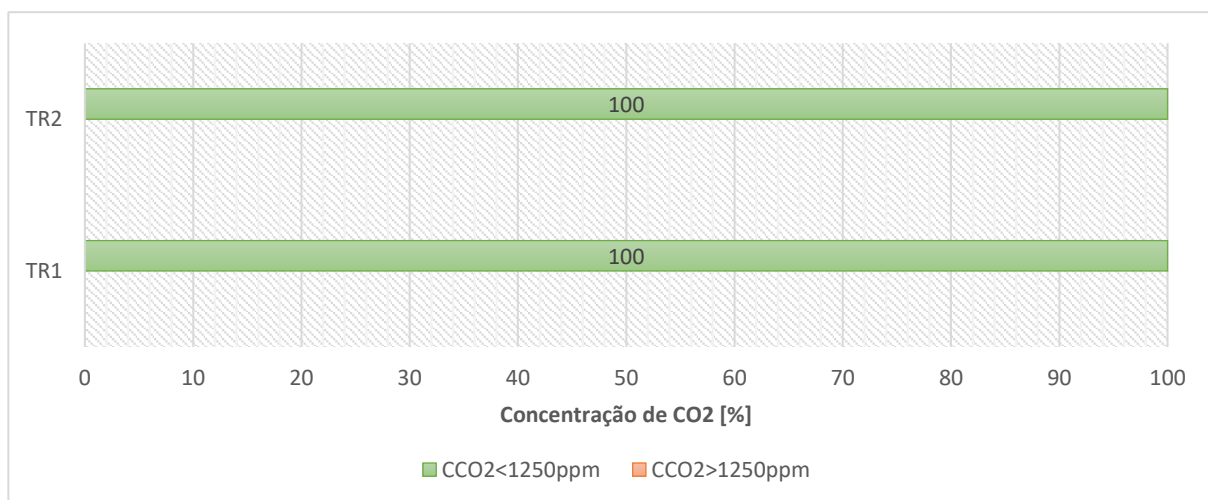


Figura 55: Percentagem de concentração de CO₂ relativamente ao Limiar de Proteção

Para obter a [Figura 55](#) recorreu-se aos dados de concentração de CO₂, em ppm, e de ocupação nas salas de teste fornecidos pelo PME. Seguidamente, foi verificada a concentração de CO₂ nos momentos em que existe ocupação relativamente ao Limiar de Proteção (1 250ppm)^(q). Este valor é referente aos edifícios novos sendo que os edifícios existentes ou edifícios novos sem sistemas mecânicos de ventilação possuem uma margem de tolerância de 30%^(r). No entanto, como as salas de teste têm um sistema de ventilação mecânico foi assumido o valor de 1 250ppm como Limiar de Proteção. É possível aferir pelo gráfico que a concentração de CO₂ nas salas de teste nunca é superior ao Limiar de Proteção durante o período de ocupação. O valor máximo obtido de concentração de CO₂ no período de ocupação na TR1 foi de 1 026ppm no dia 13 de novembro de 2019 e na TR2 foi de 1 020ppm no dia 24 de janeiro de 2020. A partir destes resultados pode-se aferir que o sistema de ventilação mecânico existente nas salas de teste tem um desempenho satisfatório já que cumpre a legislação referente à concentração de CO₂, todavia esta avaliação é incompleta devido à inexistência da medição do caudal de ar novo, não sendo possível averiguar se o sistema de ventilação assegura o caudal mínimo de ar novo nas salas de teste.

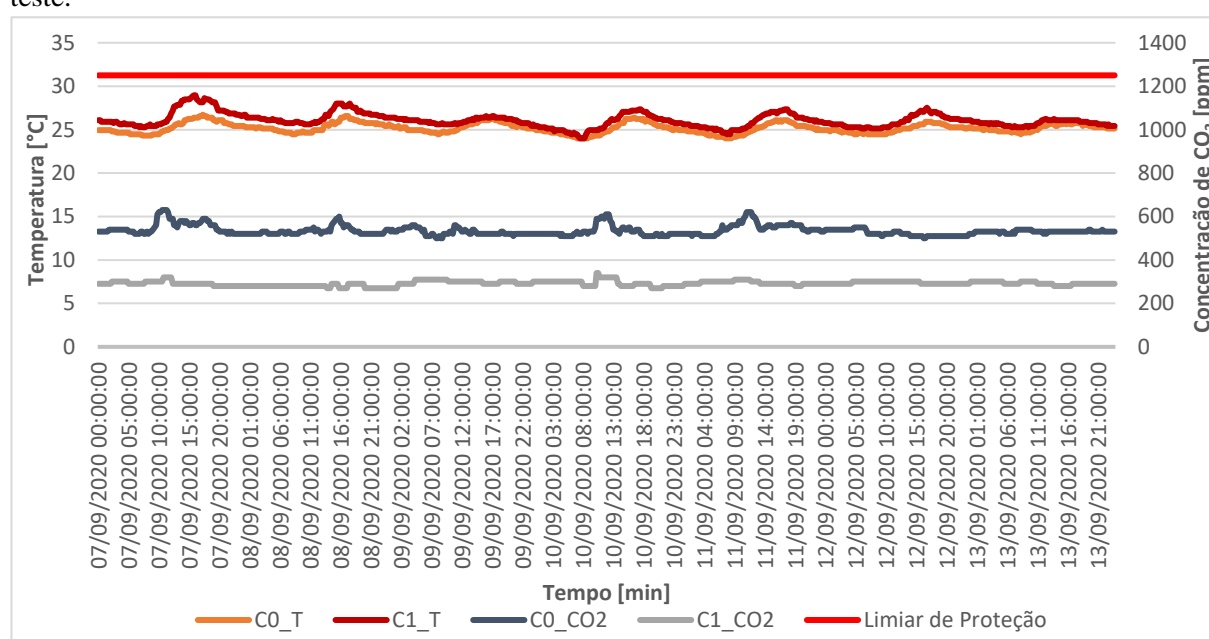


Figura 56: Temperatura e concentração de CO₂ no corredor 0 e 1 do edifício

Na [Figura 56](#) estão representados os valores de temperatura e concentração de CO₂ medidos pelos sensores existentes nos corredores do piso 0 e do piso 1, de 7 a 13 de setembro de 2020. Verifica-se que a temperatura do corredor 1 é sempre superior à do corredor 0. O piso 1 está mais próximo da claraboia pelo que existem mais ganhos de calor neste piso. Os valores de temperatura dos corredores variam de um modo aproximadamente cíclico, aumentando do meio até o final do dia e sendo menores de manhã e de noite. A radiação solar possui uma forte influência na temperatura, o que explica esta variação ao longo de um dia. Já a concentração no piso 0 é sempre significativamente maior à do piso 1, porém a concentração dos dois pisos nunca é superior ao Limiar de Proteção. Enquanto que o piso 0 só tem aberturas do lado Este, o piso 1 possui aberturas do lado Este, Oeste e é o mais próximo da claraboia pelo que existe uma maior renovação de ar neste piso e, conseqüentemente, uma maior diluição do CO₂ enquanto que no piso 0 existe um maior acúmulo deste gás. A concentração de CO₂ depende fortemente da presença humana visto que as pessoas são a principal fonte de produção de CO₂ no Solar XXI.

^(q) Valor fornecido pelo Anexo da Portaria n°. 353-A/2013, de 4 de dezembro, Ponto 1.1.1, número 2

^(r) Anexo da Portaria n°. 353-A/2013, de 4 de dezembro, Ponto 4.1, alínea c e Tabela I.08

9.5. Questionários de avaliação da ocupação

Em outubro de 2020 foi disponibilizado um questionário de avaliação da ocupação (Anexo A) do Solar XXI, dos quais 9 dos 10 ocupantes responderam. Os ocupantes foram questionados sobre a quantidade de tempo que passam no Solar XXI, a qual a maioria (78%) respondeu 6 a 8 horas. Em minoria está 1 pessoa (11%) que ocupa o edifício por mais de 8 horas e 1 pessoa (11%) que não respondeu. Daqui retira-se que as pessoas ocupam o edifício durante um período significativo.

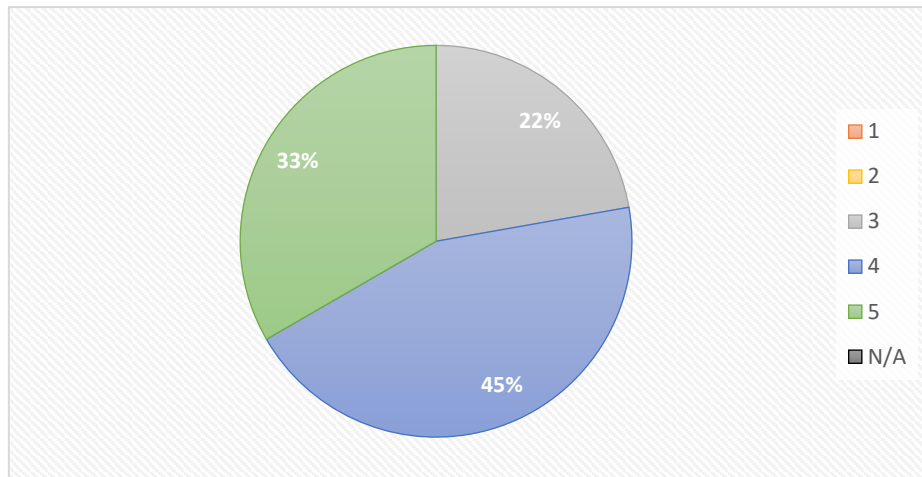


Figura 57: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade em geral do ambiente interior do edifício

Na [Figura 57](#) estão expostas os pareceres dos ocupantes sobre a qualidade em geral do ambiente interior do edifício relativamente à temperatura, à humidade relativa e à ventilação. A maior parte (45%) dos ocupantes considera o conforto térmico e a QAI em geral satisfatório, 33% julgam o ambiente interior muito satisfatório e 22% opinam que é razoável. Portanto, 7 dos 9 ocupantes sentem-se confortáveis no Solar XXI enquanto que 2 ocupantes sentem-se moderadamente confortáveis.

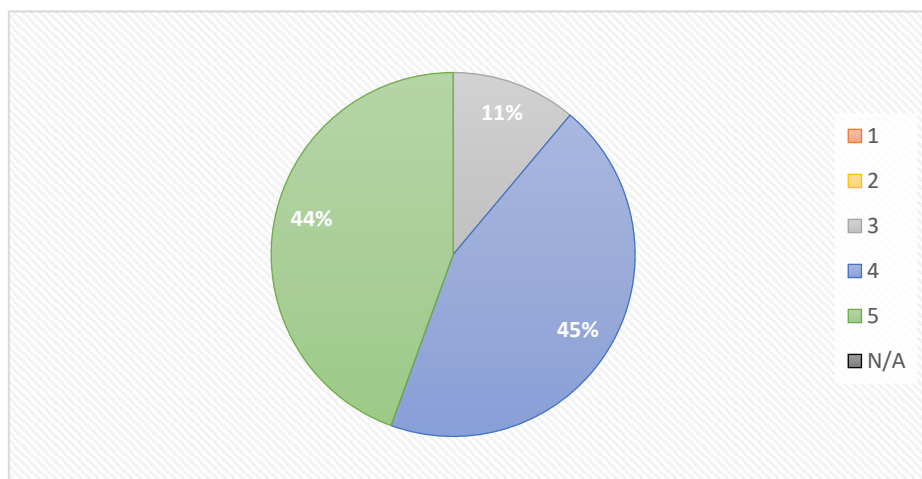


Figura 58: Opinião dos ocupantes sobre a versatilidade do edifício

Na [Figura 58](#) observa-se que 45% dos ocupantes estão satisfeitos e 44% estão muito satisfeitos do modo como o edifício vai de encontro às suas necessidades, ou seja, os interesses dos ocupantes são substancialmente considerados na operação do edifício. Já 1 pessoa (11%) avalia de forma razoável a versatilidade do edifício em função das suas necessidades. No entanto, a maioria dos ocupantes (89%) concorda que a flexibilidade do Solar XXI em conformidade com as suas preferências é satisfatória ou muito satisfatória.

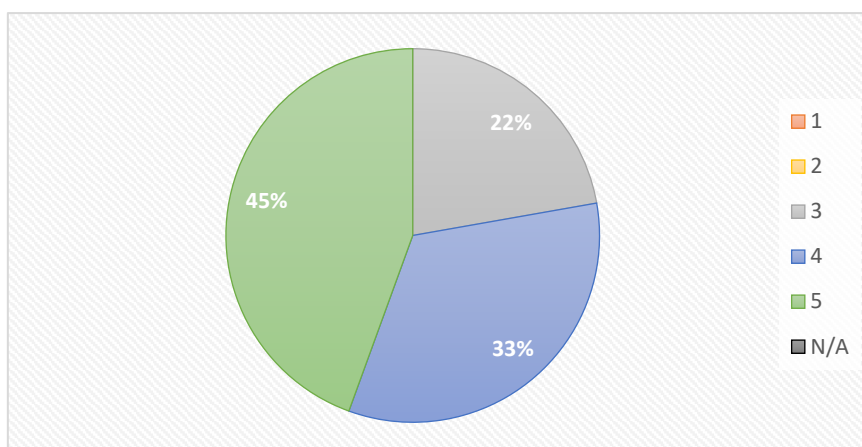


Figura 59: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade do edifício em geral

Conclui-se pela [Figura 59](#) que 45% dos ocupantes estão muito satisfeitos com a qualidade do Solar XXI, 33% estão satisfeitos e a minoria (22%) classifica a qualidade do edifício em geral como satisfatória. A maioria dos ocupantes (78%) considera que o edifício em geral tem uma boa ou excelente qualidade, contudo alguns identificaram problemas ao nível do isolamento acústico sendo que ruídos externos como reuniões afetam de forma prejudicial o ambiente sonoro dos gabinetes de trabalho por causa da ausência de isolamento térmico nos vãos interiores e pelas lâminas das portas e vãos interiores que permitem a entrada de ruído para o interior das salas. Adicionalmente, alguns dos ocupantes admitiram ficar incomodados pelas amplitudes térmicas elevadas nos dias muito quentes ou muito frios resultantes da grande área envidraçada com alto coeficiente de transmissão térmico, as infiltrações de ar pelas bandeiras das portas e do fator de forma (piso 1 tem maior contato com exterior do que o piso 0).

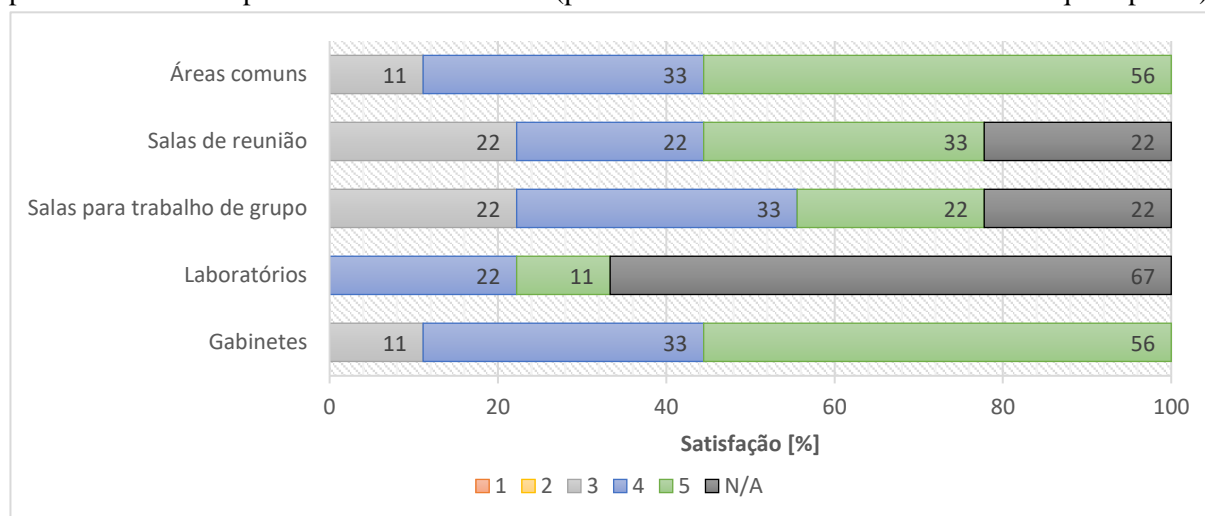


Figura 60: Opinião dos ocupantes sobre a qualidade em geral das áreas do edifício

Na [Figura 60](#) estão apresentadas as respostas relativas à qualidade em geral das divisões. A avaliação da qualidade foi igual nos gabinetes de trabalho e nas áreas comuns sendo que 56% consideram que estas zonas possuem uma excelente qualidade, 33% opinam que têm uma boa qualidade e 11% acham que estas zonas são razoáveis quanto à qualidade. A apreciação das salas de reunião e das salas para trabalho de grupo é bastante similar já que 22% acham que a qualidade é satisfatória, outros 22% não avaliaram estas zonas, porém enquanto que 33% acham excelente e 22% consideram boa a qualidade das salas de reunião, 22% julgam excelente e 33% opinam que as salas para trabalho de grupo têm uma boa qualidade. Nos laboratórios 67% não responderam, 11% consideram que tem excelente qualidade e 22% estimam que possui uma boa qualidade. As pessoas que não responderam ou não avaliaram determinadas áreas do edifício, justificaram que as áreas não classificadas correspondem a zonas que raramente ou pouco frequentam. Logo, não possuem uma ideia formada sobre a qualidade destas áreas.

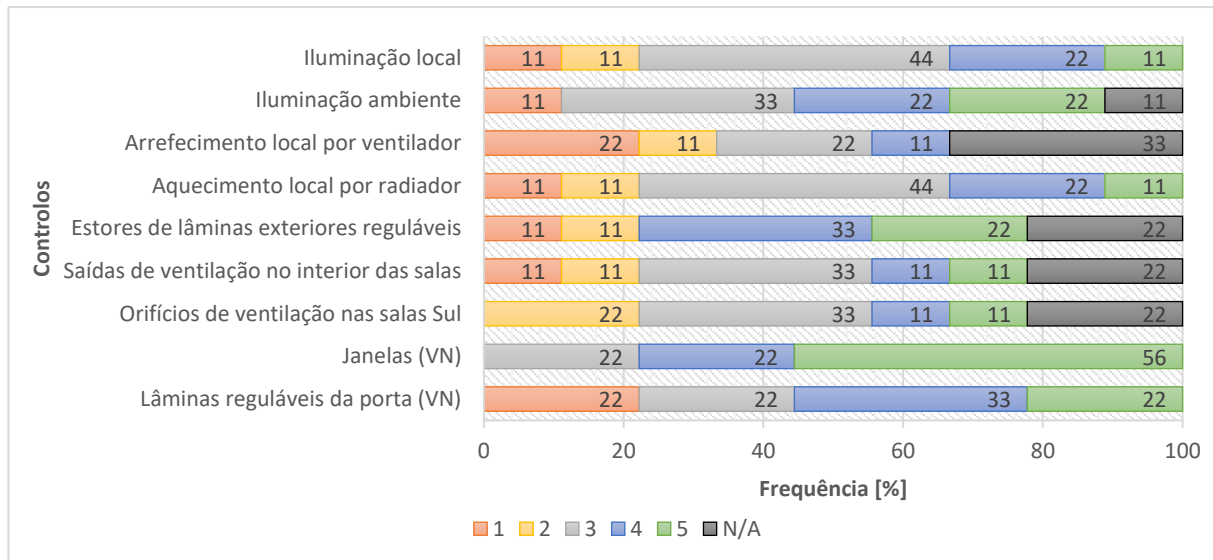


Figura 63: Frequência com que os ocupantes usam os controlos do ambiente interior

Pela [Figura 63](#) observa-se que a ventilação natural nas salas são promovidas pelo uso maioritário de janelas sendo que 56% dos ocupantes usam incessantemente, 22% utilizam frequentemente e 22% recorrem a este controlo moderadamente. Quanto à ventilação natural promovida pelas lâminas reguláveis da porta da divisão, a maior parte dos ocupantes (33%) usa regularmente, 22% utilizam muito frequentemente, 22% é moderada na operação das lâminas e os restantes 22% raramente recorrem a este controlo. A maior parte dos ocupantes (33%) emprega de forma comedida as aberturas nas salas a Sul com recuperação de calor dos BIPV, 22% usam pouco frequentemente, 11% utilizam regularmente e 11% serve-se constantemente deste controlo para ventilação. Os resultados da frequência de uso das saídas de ventilação no interior das salas pelos ocupantes são muito similares ao das aberturas, com a diferença de que em vez de 22%, são 11% dos ocupantes a recorrerem pouco frequentemente a este controlo e outros 11% a utilizarem excecionalmente. A maioria dos ocupantes usa geralmente (33%) ou constantemente (22%) os estores externos com lâminas reguláveis enquanto que 11% utiliza pouco e os outros 11% manuseia este controlo esporadicamente. Quanto à climatização das divisões, o aquecimento local por radiador tem uma utilização superior ao do arrefecimento local por ventilador. Dos 9 ocupantes, 44% recorrem criteriosamente ao radiador, 33% usam de forma mais regular e os restantes 22% utilizam ocasionalmente este controlo. No arrefecimento da divisão, 33% empregam eventualmente, 22% usam de forma comedida e apenas 11% utiliza frequentemente o ventilador. Relativamente à iluminação ambiente, grande parte (44%) usa habitualmente, 33% empregam de forma ponderada e 11% recorre raramente. Já na iluminação local, 33% utilizam frequentemente, 44% é prudente no uso de focos de luz e 22% empregam este controlo infrequentemente. Portanto, os ocupantes preferem a iluminação geral quando se trata da iluminação do ambiente.

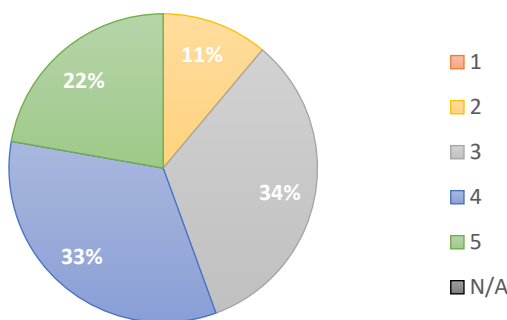


Figura 62: Conforto térmico no verão

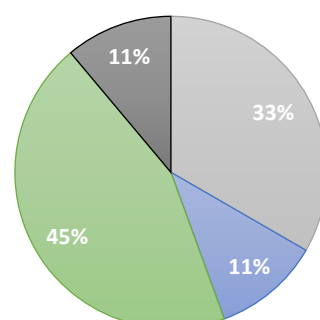


Figura 61: Conforto térmico no inverno

Pelas Figuras 61 e 62 é possível analisar a satisfação dos ocupantes quanto ao conforto térmico providenciado pelo edifício no verão e no inverno, respetivamente. No verão, 22% dos ocupantes estão muito satisfeitos com o conforto térmico, 33% estão satisfeitos, 34% consideram satisfatório e 11% estão descontentes com o conforto térmico no verão. Quanto ao inverno, 45% consideram o conforto térmico excelente, 11% estimam que é bom, 33% julgam que é aceitável, contudo 1 pessoa (os restantes 11%) não avaliou este parâmetro uma vez que ainda não chegou a experienciar o inverno no edifício. Os gabinetes de trabalho e outras áreas de maior ocupação estão orientadas para Sul de modo que recebem maior incidência solar ao longo do ano. Esta estratégia passiva é conveniente para o inverno já que aumenta o conforto térmico, porém passa a constituir um problema no verão. A maior incidência solar no verão amplifica a temperatura interior, causando sobreaquecimento e provocando desconforto aos ocupantes. O isolamento térmico do Solar XXI também dificulta a dissipação do calor existente nos gabinetes. Adicionalmente, os ocupantes podem recorrer aos radiadores para aquecer a divisão até a temperatura desejada no inverno, todavia no verão só podem empregar métodos passivos como o arrefecimento pelo ar fresco dos tubos enterrados que são menos eficazes que os radiadores. Portanto, infere-se que no Solar XXI o conforto térmico no inverno é superior do que no verão. Já em termos de quantidade de iluminação natural, os ocupantes estão muito mais satisfeitos no verão do que no inverno.

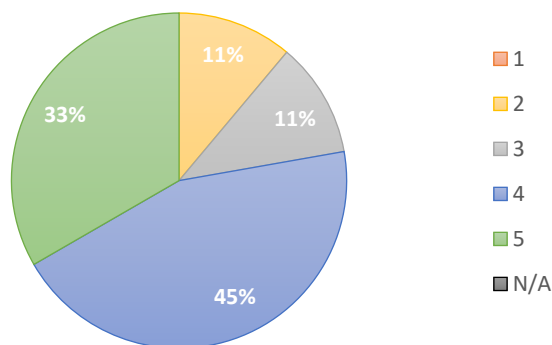


Figura 65: Qualidade do ar interior no verão

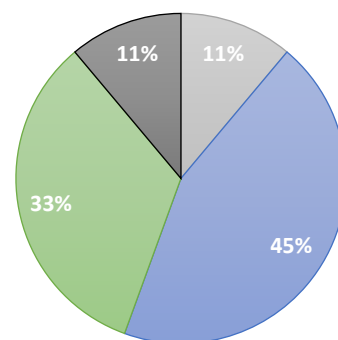


Figura 64: Qualidade do ar interior no inverno

Pelas Figuras 64 e 65 pode-se analisar a opinião dos inqueridos em relação à qualidade do ar interior fornecida pelo edifício no verão e no inverno, correspondentemente. No verão, 33% dos ocupantes consideram a qualidade do ar interior excelente, 45% acham que a qualidade é boa, 11% acreditam que é razoável e, os restantes 11% julgam que a qualidade do ar interior é condenável no verão. Já no inverno, 33% estimam que a qualidade do ar é excecional, 45% consideram boa, 11% julgam que a qualidade é satisfatória, contudo os restantes 11% não responderam. Os resultados da qualidade do ambiente interior no verão e no inverno são muito similares com a única exceção de que 1 pessoa opina que a qualidade do ar é lamentável no verão e 1 pessoa não avaliou esta questão no inverno por ainda não ter vivenciado esta estação no edifício. Um dos inqueridos comentou que para existir uma boa qualidade do ar interior no verão é necessário recorrer às janelas exteriores, aos ventiladores exteriores ou às lâminas reguláveis da porta e aos ventiladores dos tubos enterrados. Deste modo, conclui-se que em geral os ocupantes estão mais satisfeitos com a qualidade do ar interior e a ventilação existente no inverno do que no verão. Existe uma conjugação entre a renovação do ar e a climatização desse ar na divisão ocupada. As necessidades de renovação de ar no inverno são relativamente inferiores às do verão e, a climatização do caudal de ar novo no inverno é muito mais fácil do que no verão. Adicionalmente, no inverno é possível recorrer às aberturas de ventilação existentes na parte posterior dos BIPV para permitir a entrada do ar exterior aquecido pelo painel enquanto que no verão tal não é possível.

9.6. Evolução do consumo/produção de eletricidade do Solar XXI

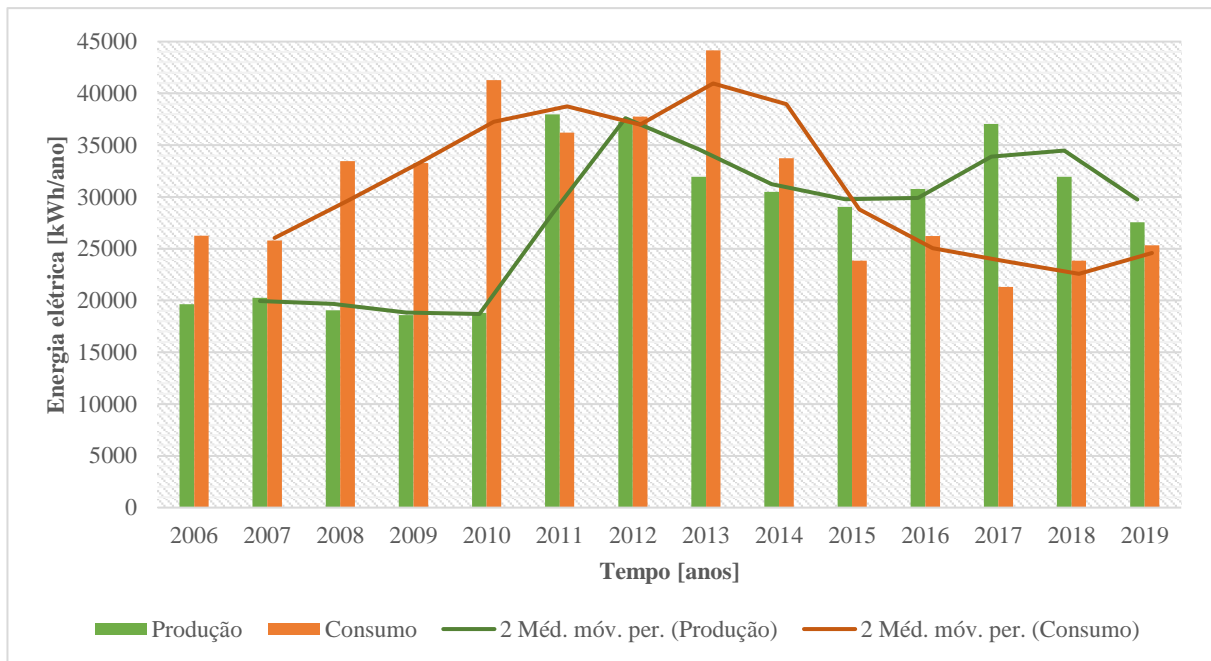


Figura 66: Produção e consumo elétrico anual do Solar XXI

Na [Figura 66](#) estão apresentados o consumo e a produção elétrica total por ano do Solar XXI, desde 2006 até 2019. A produção inclui a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos do parque de estacionamento e da fachada Sul do edifício. O consumo foi sempre superior à produção até 2010, porque os painéis CIS do parque de estacionamento não tinham sido instalados até outubro de 2010. Logo, os anos entre 2006 e 2010, inclusive, constituem o período onde existiu a menor produção elétrica renovável. A partir de 2010, a produção total aumentou e foi maior que o consumo em 2011 e, de 2015 a 2019. Em 2013, existiu o pico de consumo elétrico no Solar XXI (44 157 kWh/ano) e já no ano de 2017 registou-se o menor consumo elétrico, 21 307 kWh/ano, cerca de metade do consumo máximo catalogado. Já a maior produção elétrica do edifício ocorreu em 2011, cerca de 37 958 kWh/ano e, a menor produção foi de 18 588 kWh/ano no ano de 2009. É de notar que em 2017, a produção elétrica superou largamente o consumo (em 15 747 kWh/ano) e, que em 2010 o consumo excedeu consideravelmente a produção (em 22 475 kWh/ano). De 2013 até 2017, o consumo elétrico sofreu uma diminuição constante, porém em 2018 houve um aumento de aproximadamente 12% ao de 2017 e, em 2019 aumentou 6% em relação a 2018. O consumo elétrico em 2019 aumentou possivelmente devido à instalação de novos equipamentos e a posterior fase de testes que implicaram uma maior carga elétrica. O consumo elétrico final médio é cerca de 26 kWh/m².ano e produção elétrica média é aproximadamente 23 kWh/m².ano. Logo, a fração elétrica média anual é aproximadamente 90%.

Os valores médios de consumo e produção elétricos finais e, os valores medidos de gás natural e energia térmica produzida que são 19,24 kWh/m².ano e 6,31 kWh/m².ano, respetivamente, foram usados para calcular a fração renovável local. Estes valores foram multiplicados pelos respetivos fatores de conversão para a energia primária (da legislação portuguesa), estimando que o consumo energético é aproximadamente 83,6 kWh_{EP}/m².ano e que a produção energética é sensivelmente 64,4 kWh_{EP}/m².ano. A partir destes dados retira-se que a fração renovável local ronda os 77% sendo que a classe energética obtida é A pela [Figura 4](#) e, que o edifício se insere na categoria dos HEPB. Na componente elétrica, a produção consegue satisfazer a maior parte do consumo existente. Já na componente térmica, observa-se que a produção térmica é insuficiente e é preciso importar quantidades consideráveis de gás natural para suprir as necessidades de aquecimento. Deste modo, é necessário aumentar a produção térmica ou substituir a caldeira a gás por uma bomba de calor que poderia aproveitar melhor a energia renovável produzida no local para que o Solar XXI possa alcançar o estatuto NZEB.

10. Conclusões

10.1. Conclusões gerais

O Mundo sofre de diversos problemas graves que perduram há algum tempo como a concentração urbana, a globalização e subsequentes efeitos nocivos, aumento progressivo da procura de energia, Alterações Climáticas, diminuição de recursos naturais, entre outros. Como já se verificou, os edifícios são responsáveis pelo consumo energético substancial e pela emissão de notáveis quantidades de gases com efeito de estufa. Os novos edifícios começam a cumprir os requisitos mínimos estabelecidos pelos regulamentos que permitem economizar alguma energia, contudo os edifícios existentes possuem um consumo energético considerável para manter as mínimas condições interiores. É, portanto, necessário existir uma visão orientada para a sustentabilidade seja no edificado existente, no novo ou por construir.

No Solar XXI existiu a atualização de alguns sistemas do edifício e a instalação de equipamentos de medição que possibilitaram um nível de monitorização mais detalhado. A automatização de alguns sistemas do edifício e das salas de teste tem como objetivo a investigação experimental de métodos que permitem um consumo energético eficiente e reduzido. Pelos dados do PME, o consumo elétrico final foi cerca de 22 kWh/m².ano, contudo não foi possível aferir a produção elétrica efetiva já que não existiu a contabilização da produção do parque de estacionamento até setembro de 2020. As salas de teste possuem um consumo elétrico de 114 kWh/ano, cerca de 0.46% do consumo elétrico total do edifício. Existiu um consumo de 19 kWh/m².ano de gás natural sendo que a produção térmica foi cerca de 6 kWh/m².ano. Apesar do baixo consumo energético do Solar XXI, é de evidenciar que as necessidades de aquecimento são em grande parte satisfeitas pela combustão de um combustível fóssil durante o período de inverno, comprometendo a sustentabilidade do edifício. Logo, a substituição da caldeira por um sistema de aquecimento elétrico eficiente e/ou instalar mais coletores solares no edifício pode ser mais eficiente e ecologicamente mais favorável. Até o momento não foi possível apurar se a monitorização contribui para a redução do consumo energético e, se automatização aumenta o desempenho energético do edifício. O Solar XXI é um edifício já bastante eficiente pelo que os impactos destas medidas poderão não ser muito aparentes. No entanto, o principal objetivo do Solar XXI é continuar a estudar e implementar medidas que permitam melhorar o desempenho dos edifícios, logo a monitorização e a automatização são passos fundamentais para esse objetivo.

A energia primária importada supera a exportada de modo que o balanço energético anual estimado é negativo. Porém, Solar XXI possui um balanço de carbono equivalente positivo pelo que as emissões de GEE implicadas na energia importada são equilibradas com a produção renovável local livre de emissões. A produção elétrica do Solar XXI consegue abranger o consumo elétrico em 86%. No entanto, a correspondência de carga térmica é apenas 47% dado que é necessário importar quantidades substanciais de gás natural para apoiar a produção térmica do edifício que não consegue suprir por completo as necessidades de aquecimento. Os custos derivados da importação excedem os lucros da energia exportada para a rede em 4 €/m².ano de modo que o balanço económico anual é negativo. Portanto, é necessário reduzir o consumo ou aumentar a produção energética em aproximadamente 26 kWh_{EP}/m².ano para que o Solar XXI possa ter um balanço energético nulo e adquirir o estatuto NZEB.

O SRI obtido nas salas de teste supera em 19% o alcançado pelo edifício em geral. Este resultado era esperado visto que o nível de automatização e monitorização das salas é superior ao do edifício. Enquanto que no edifício em geral, as suas próprias necessidades têm primazia, as necessidades dos ocupantes são a prioridade das salas uma vez que o funcionamento de todos os seus sistemas gravita à volta dos interesses destes. As necessidades da rede são desprezadas dado que não existe gestão da procura em função da carga da rede, das tarifas ou outras restrições da rede. Existe, portanto, um grande

potencial de melhorias a efetuar no edifício na componente inteligente e, até mesmo as salas de teste podem usufruir de atualizações que aumentem a sua aptidão inteligente.

A qualidade em geral do Solar XXI é satisfatória para os ocupantes sendo que os principais problemas apontados são a má acústica e as amplitudes térmicas elevadas nos dias muito quentes ou frios. A qualidade do ambiente interior do Solar XXI é boa, contudo o conforto térmico e QAI são melhores no inverno do que no verão. Nas salas de teste observou-se que durante o período de ocupação, o conforto é dominante. Não foi possível analisar por completo o desempenho do sistema de ventilação destas salas já que não existe medição do caudal de ar novo, todavia infere-se que seja aceitável visto que a concentração de CO₂ no período de ocupação nunca excede o Limiar de Proteção. No entanto, como as salas ainda estão em fase de testes, estes resultados não são assegurados. Após a automatização completa das salas e da sua otimização, os dados obtidos poderão ser distintos.

Alguns dos objetivos propostos no início da presente dissertação foram cumpridos enquanto que alguns não foram possíveis de concretizar devido aos atrasos provocados pela pandemia na instalação e otimização do novo sistema de monitorização e de automatização. Só a partir da monitorização contínua do edifício será possível apurar o efeito da implementação das novas estratégias e o impacto que as Alterações Climáticas terão no consumo energético e na produção renovável do Solar XXI.

O Solar XXI trata-se de um edifício com baixo consumo e energeticamente eficiente, em parte devido às estratégias implementadas como a otimização da envolvente, fachada fotovoltaica, aquecimento solar passivo, arrefecimento passivo pelo solo, solar ativo e, fomento da ventilação e iluminação natural. Estes métodos permitiram o Solar XXI ser um edifício com elevado desempenho energético. A monitorização e a automatização do edifício são outros dois recursos que podem ajudar a aprimorar o edifício. Até o momento não foi possível averiguar o impacto que estas medidas geraram, todavia é expectável que promovam a eficiência energética e aumentem o desempenho do edifício. Em consequência da redução das necessidades energéticas, uso racional de energia e incorporação de renováveis, o Solar XXI possui baixo consumo energético significativamente coberto pelas renováveis, tornando-o num edifício que com algumas modificações pode ser um exemplo a seguir na construção de um futuro sustentável.

10.2. Futuros desenvolvimentos

Durante o desenrolamento do presente trabalho houve a existência de possíveis desenvolvimentos para o Solar XXI. Após a fase de testes, no qual o edifício se encontra de momento, é essencial prosseguir com as investigações e atualizações que aperfeiçoem o desempenho energético do edifício.

Seria importante realizar a medição e o registo da temperatura interior, concentração de CO₂ e caudal de ar novo de todas as divisões, juntamente com os respetivos dados de ocupação. Deste modo, será possível avaliar o conforto e a QAI de forma objetiva a partir dos dados reais medidos e aplicar as medidas mais adequadas que melhorem o ambiente interior. Deve-se complementar esta análise analítica com questionários de avaliação da ocupação para entender a opinião dos ocupantes. Deve-se estudar e “hierarquizar” as funções e operação de cada sistema para verificar o funcionamento destes em conjunto nas salas de teste.

Seria interessante empreender a monitorização de um gabinete não automatizado equivalente a uma sala de teste automatizada. Deste modo, seria possível comparar o consumo medido desse gabinete e o da sala de teste e, investigar os efeitos resultantes da automatização. Caso a monitorização de um gabinete não automatizado seja inviável, pode-se recorrer à simulação do mesmo. Adicionalmente, o Solar XXI pode ser simulado para compreender quais serão os efeitos resultantes das alterações implementadas na classe energética obtida. Por conseguinte, também seria possível analisar a diferença existente entre o comportamento ideal e o existente no Solar XXI.

11. Referências Bibliográficas

- [1] **Bean, F., Volt, J., Dorizas, V., Bourdakos, E., Staniaszek, D., Roscetti, A. e Pagliano, L.** *A Guide to Implement the Energy Performance of Buildings Directive (2018/844)*. Future-Proof Buildings for All Europeans BPIE 2019.
- [2] **LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P.** *Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos*. [ed.] J. Bernardo. Lisboa: LNEG, I.P., 2015.
- [3] **Oliveira Panão, M.** *Transferência de Calor e Balanço de Energia em Edifícios*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2018.
- [4] **Torcellini, P., Pless, S. e Deru, M.** *Zero Energy Buildings: A critical Look at the Definition*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2006.
- [5] **Sartori, I., Napolitano, A. e Voss, K.** *Net zero energy buildings: A consistent definition framework*. SINTEF, EURAC e *Bergische Universitat Wuppertal*, 2012.
- [6] **Monge Palma, R.** *Projeto de Edifício de Serviços com Balanço de Energia Nulo*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2019. Tese de Mestrado.
- [7] **Noris, F., Napolitano, A. e Lollini, R.** *Measurement and Verification protocol for Net Zero Energy Buildings*. A report of Subtask A-A2 EURAC research, 2013.
- [8] **Estúdio ABC.** *Conheça 4 edifícios inteligentes ao redor do mundo*. [Online] 2017. [Citação: 07-fev-2020] <https://exame.abril.com.br/tecnologia/conheca-4-edificios-inteligentes-ao-redor-do-mundo/>
- [9] **Surmeli-Anac, N. e Hermelink, A.H.** *The Smart Readiness Indicator: A potential, forward-looking Energy Performance Certificate complement?* Ecofys, 2018.
- [10] **Verbeke S., Waide P., Bettgenhäuser K., Usler M., Bogaert S. et al.** *Support for setting up a Smart Readiness Indicator for buildings and related impact assessment - final report*. Brussels, 2018.
- [11] **LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P.** *SOLAR XXI, um edifício energeticamente eficiente em Portugal*. [ed.] G. Helder. Lisboa: LNEG, I.P., 2005.
- [12] **LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P.** *SOLAR XXI, em direção à energia zero*. [ed.] G. Helder. Lisboa: LNEG, I.P., 2010.
- [13] **LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia I.P.** *From solar building design to Net Zero Energy Buildings*. [ed.] A. Laura e G. Helder. Lisboa: LNEG, I.P., 2013.
- [14] **Gameiro Pelica, J.** *Infraestrutura para um controlador inteligente de energia e conforto num edifício inovador*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2020. Tese de Mestrado.
- [15] **Schneider Electric.** *A Quantitative Analysis of the ZigBee Wireless Standard*. Referência 998-2095-01-08-12AR0_EN. [Online] junho de 2011. [Citação: 03-abr-2020] https://www.se.com/pt/pt/download/document/998-2095-01-08-12AR0_EN/
- [16] **Wikipedia.** *Redes Mesh*. [Online] 2020. [Citação: 07-ag-2020]. https://pt.wikipedia.org/wiki/Redes_Mesh
- [17] **Schneider Electric.** *EnOcean Wireless Devices Comparison Guide*. Referência CG-EnOcean902. [Online] fevereiro de 2014. [Citação: 03-abr-2020] <https://www.se.com/pt/pt/download/document/CG-EnOcean902/>

- [18] **Wikipedia.** *EnOcean*. [Online] 2020. [Citação: 07-ag-2020]
<https://en.wikipedia.org/wiki/EnOcean>
- [19] **Wikipedia.** *ModBus*. [Online] 2020. [Citação: 07-ag-2020]
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [20] **Belleri, A. e Napolitano, A.** *Net ZEB evaluation tool – User guide*. EURAC research. [Online] 2012. [Citação: 15-set-2020] <http://task40.iea-shc.org/net-zeb>
- [21] **Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana de Castelo, APDL.** *Relatório de Sustentabilidade 2013*. [Online] 2013. [Citação: 17-nov-2020]
<http://www.apdl.pt/relatoriosustentabilidade/6.1.html>
- [22] **Milousi, M., Souliotis, M., Arampatzis, G. e Papaefthimiou, S.** *Evaluating the Environmental Performance of Solar Energy Systems Through a Combined Life Cycle Assessment and Cost Analysis*. [Online] 2019. [Citação: 06-out-2020].
https://www.researchgate.net/publication/332803471_Evaluating_the_Environmental_Performance_of_Solar_Energy_Systems_Through_a_Combined_Life_Cycle_Assessment_and_Cost_Analysis
- [23] **OMIE, Operador do Mercado Ibérico.** *Evolución del mercado de electricidad – Informe anual 2019*. [Online] 2019. [Citação: 29-set-2020]. https://www.omie.es/sites/default/files/2020-02/informe_anual_2019_es.pdf
- [24] **Preço dos Combustíveis Online.** *Preço Médio Diário no Continente – Listagem*. [Online]. [Citação: 29-set-2020]. <http://www.precoscombustiveis.dgeg.pt/?cpp=1>
- [25] **Galp.** *Monitorização do Gás Natural*. [Online]. [Citação: 29-set-2020].
<https://galpgasnaturaldistribuicao.pt/Centro-de-Informa%C3%A7%C3%A3o/Monitorizacao-do-gas-natural>
- [26] **Märzinger, T. e Österreicher, D.** *Supporting the Smart Readiness Indicator – A Methodology to Integrate A Quantitative Assessment of the Load Shifting Potential of Smart Buildings*. [Online] 2019. [Citação: 29-set-2020].
https://www.researchgate.net/publication/333317323_Supporting_the_Smart_Readiness_Indicator-A_Methodology_to_Integrate_A_Quantitative_Assessment_of_the_Load_Shifting_Potential_of_Smart_Buildings
- [27] **Verbeke, S., Ma, Y., Tichelen, P., Ashok, J., Hermelink, A., Usler, M., Sculte, J. et al.** *Support for Setting up a Smart Readiness Indicator for Buildings and Related Impact Assessment*. [Online] 2018. [Citação: 26-set-2020].
https://smartreadinessindicator.eu/sites/smartreadinessindicator.eu/files/sri_secondprogressreport_final_0.pdf
- [28] **Verbeke, S., Ma, Y., Aerts, D., Reynders, G., Waide, P.** *Summary of State of Affairs in 2nd Technical Support Study on the Smart Readiness Indicator for Buildings*. VITO, Ecofys e OFFIS.
- [29] **FCUL, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.** *Thermal Comfort*. P. Marta. Lisboa, 2019.
- [30] **Albatayneh, A., Alterman, D., Page, A. e Moghtaderi, B.** *The Impact of the Thermal Comfort Models on the Prediction of Building Energy Consumption*. [Online] 2018. [Citação: 30-set-2020].
https://www.researchgate.net/publication/328206062_The_Impact_of_the_Thermal_Comfort_Models_on_the_Prediction_of_Building_Energy_Consumption

[31] **FCUL, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.** *Building Ventilation*. P. Marta. Lisboa, 2019.

[32] **Suzuki, E. e Prado, R.** *Avaliação do Conforto Térmico e do Nível de CO₂ em Edifícios de Escritório com Climatização Artificial na Cidade de São Paulo*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010. [Citação: 30-set-2020].

https://www.researchgate.net/publication/319143334_Avaliacao_do_conforto_termico_e_do_nivel_de_CO2_em_edificios_de_escritorio_com_climatizacao_artificial_na_cidade_de_Sao_Paulo/link/5e04e247a6fdcc2837400abf/download

Anexo A – Questionário de avaliação da ocupação

1. Edifício em Geral

Por favor selecione uma opção por cada questão.

1. Quantas horas por dia permanece no edifício?

	1-2	3-5	6-8	>8
<i>Horas</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

2. Como descreveria a qualidade do ambiente interior (temperatura, humidade e ventilação) do edifício em geral? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

3. Considera que o edifício em geral vai de encontro às suas necessidades? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

4. Como classificaria a qualidade do edifício em geral? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

2. Divisões do Edifício e Controlo do Ambiente

5. Como classificaria a qualidade em geral das seguintes áreas do edifício? (com 1 sendo muito pobre e 5 sendo muito boa):

	1	2	3	4	5
Gabinetes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboratórios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Salas para grupos de trabalho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Salas de reunião	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Áreas comuns	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

6. Caso recorra aos seguintes controlos de ambiente interior, classifique-os segundo a sua utilização. (com 1 sendo muito pouco usado e 5 sendo muito usado):

	1	2	3	4	5
Lâminas reguláveis de portas interiores (ventilação natural)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Janelas (ventilação natural)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Orifícios de ventilação no interior das salas a Sul	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Saídas de ventilação no interior das salas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estores de lâminas exteriores reguláveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aquecimento local por radiador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arrefecimento local por ventilador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Iluminação ambiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Iluminação local	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

3. *Sazonalidade do Edifício*

- 7. Como classificaria a temperatura do ar interior no edifício durante o verão? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

- 8. Como classificaria a temperatura do ar interior no edifício durante o inverno? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

- 9. Como classificaria a quantidade de luz diurna natural no interior do edifício durante o verão? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

- 10. Como classificaria a quantidade de luz diurna natural no interior do edifício durante o inverno? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

- 11. Como descreveria a ventilação e a qualidade do ar do edifício durante o verão? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

- 12. Como descreveria a ventilação e a qualidade do ar do edifício durante o inverno? (com 1 sendo muito insatisfatório e 5 sendo muito satisfatório):**

☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5

Comentários adicionais: [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

Se possui quaisquer comentários adicionais que gostasse de efetuar sobre qualquer aspeto da qualidade do ambiente interior do edifício note-os aqui se faz favor. [Clique ou toque aqui para introduzir texto.](#)

Agradecemos imenso pela sua participação neste questionário!

Anexo B – Resultados complementares

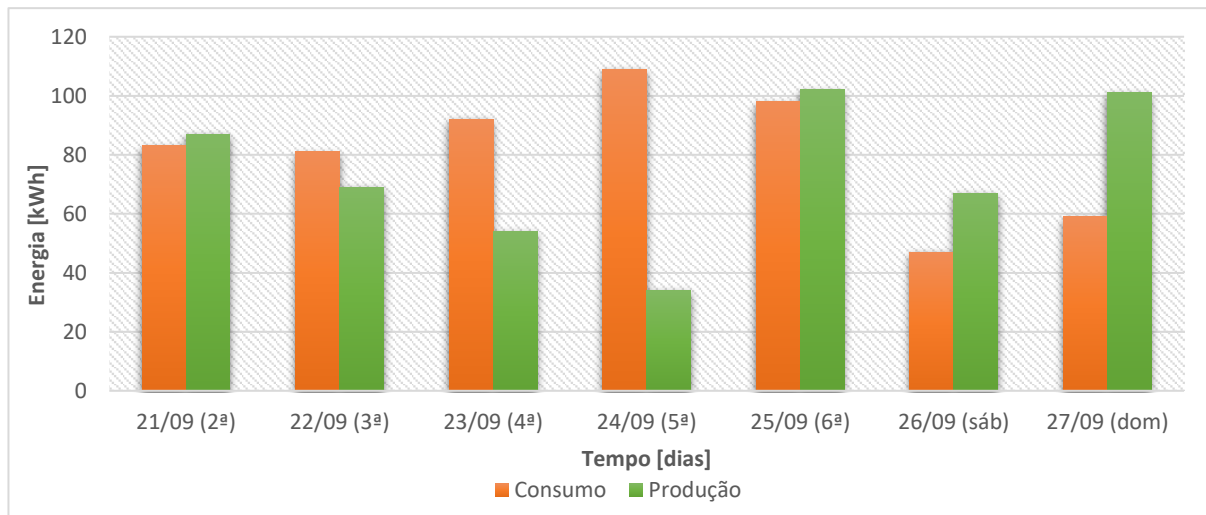


Figura B. 1: Produção e consumo elétrico do Solar XXI ao longo de uma semana

Na [Figura B.1](#) estão apresentados o consumo e a produção elétricos do Solar XXI ao longo de uma semana, em kWh. Durante os dias da semana, o consumo varia consideravelmente por dia sendo que o consumo máximo foi registado na 5ª feira, 24 de setembro, com 109 kWh/dia e o consumo mínimo foi de 81 kWh/dia na 3ª feira, 22 de setembro. O consumo nos fins-de-semana é claramente inferior uma vez que não existe ocupação. Já a produção varia ao longo da semana de forma independente da ocupação dado que só é afetada pela quantidade de radiação solar incidente nos painéis. Nesta semana, a produção elétrica foi máxima na 6ª feira (25 de setembro) com 102 kWh/dia e mínima na 5ª feira com 34 kWh/dia. Desta semana, existiram 4 dias em que a produção foi superior ao consumo enquanto que só em 3 dias o consumo excedeu a produção. O consumo elétrico médio é de 81 kWh/dia e a produção média é de 73 kWh/dia. Já de 21 a 26 de setembro de 2020, o consumo foi cerca de 569 kWh/semana e a produção foi aproximadamente 514 kWh/semana.

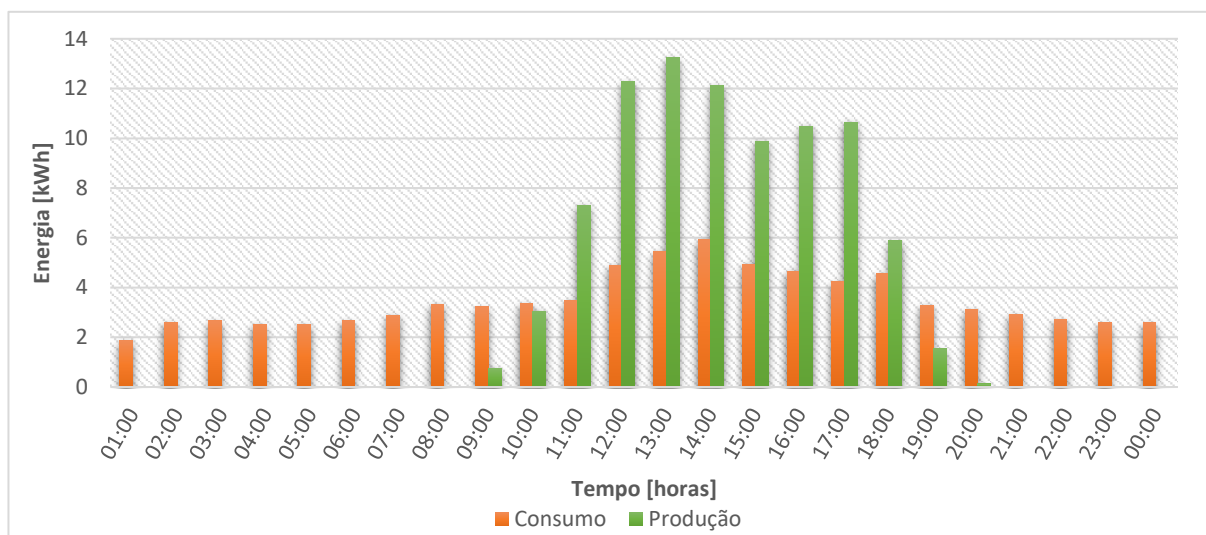


Figura B. 2: Produção e consumo elétrico do Solar XXI ao longo de um dia

Na [Figura B.2](#) estão expostos o consumo e produção ao longo do dia 21 de setembro de 2020 (2ª feira), em kWh/hora. Verifica-se que o consumo é relativamente constante de 1 até 7h e das 19 até 24h quando não existe ocupação, aumentando de forma progressiva das 8 até às 14h, onde atinge o seu máximo com 5.92 kWh e, diminuindo gradualmente até às 18h. Já a produção é inexistente de 1 até às 8h e das 20 até às 24h, quando a radiação solar é inexistente ou insuficiente para gerar energia elétrica. O consumo médio é cerca de 4 kWh/hora e a produção média é o dobro deste, 8 kWh/hora. Neste dia, o consumo foi de 83 kWh/dia e a produção foi de 87 kWh/dia de modo que o balanço elétrico foi positivo neste dia.

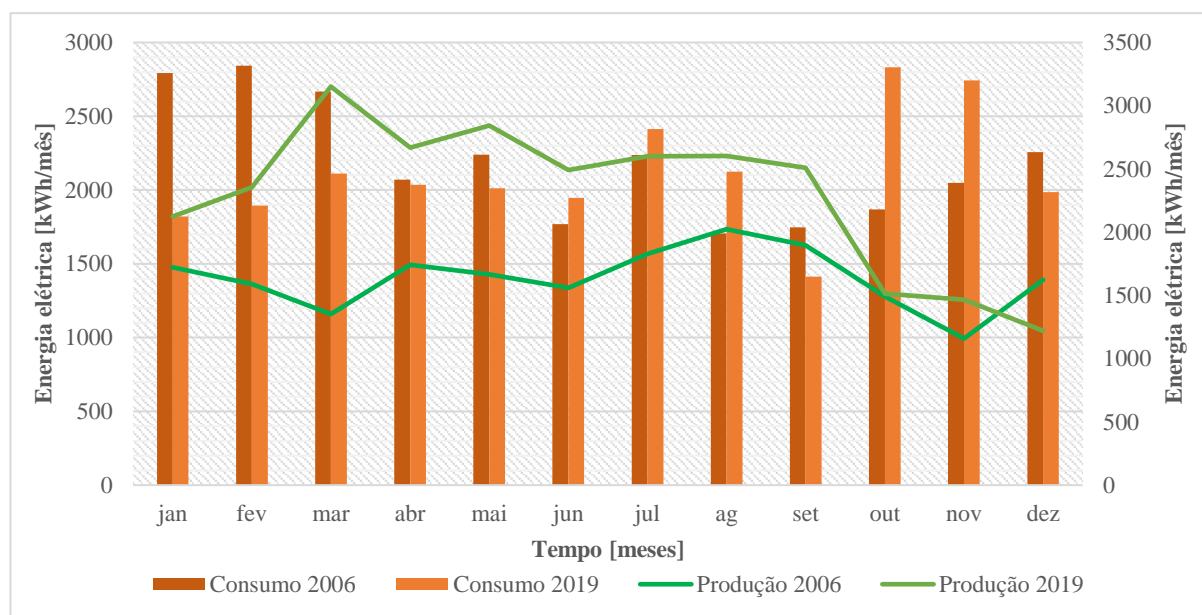


Figura B. 3: Produção e consumo elétrico mensal de 2006 e 2019 do Solar XXI

Na [Figura B.3](#) estão apresentados o consumo e a produção mensal ao longo de 2006 e de 2019 para comparar as diferenças presentes desde a existência do Solar XXI e até a atualidade. O consumo anual de 2006 era só 3% superior ao de 2019, porém a produção anual de 2019 é cerca de 40% superior à de 2006 uma vez que os painéis CIS ainda não estavam instalados no parque de estacionamento em 2006. Adicionalmente, a produção anual de 2019 excede o consumo enquanto que em 2006 a fração renovável local anual rondava os 75%. Em 2006, os consumos são superiores nos meses de inverno possivelmente devido à maior necessidade de climatização e iluminação. Já o consumo de 2019 pode ser ligeiramente superior ao de 2006 nos meses de verão (junho a agosto) devido ao Aquecimento Global, que implica um maior funcionamento de cargas relacionadas com a climatização do edifício. Já em outubro e novembro, o consumo de 2019 pode ter excedido substancialmente o de 2006 devido à instalação e manutenção dos novos sistemas técnicos e dos equipamentos de monitorização e automatização. A fase de testes dos novos dispositivos pode ter levado, também, ao maior consumo energético nestes meses após a instalação sendo que em dezembro o consumo pode ter diminuído devido às férias de Natal e Ano Novo. Já a produção de 2019 é sempre maior do que a de 2006, exceto em dezembro onde a produção de 2006 supera a de 2019 em cerca de 25%. Em 2019, a produção foi máxima em março, aproximadamente 3 151 kWh/mês, enquanto que foi mínima em dezembro, cerca de 1 221 kWh/mês. Já em 2006, a produção elétrica foi máxima em agosto, aproximadamente 2 024 kWh/mês, e foi mínima em novembro, cerca de 1 159 kWh/mês. No entanto, após a análise dos valores medidos mensalmente ao longo dos anos (2006-2019), inferiu-se que o consumo médio do Solar XXI é maior em janeiro (3 080 kWh/mês) enquanto é menor em agosto (2 215 kWh/mês). No caso da produção média, esta é superior em agosto (2 898 kWh/mês) e é inferior em dezembro (1 617 kWh/mês). Obviamente, no mês de agosto existe maior radiação solar que permite maior produção elétrica enquanto que o consumo é baixo, provavelmente devido às férias de verão que implica menor ocupação neste mês e devido à inexistência de um sistema ativo de arrefecimento e ventilação. O consumo deve ser superior no inverno por causa da maior necessidade de aquecimento e, de iluminação artificial devido à maior nebulosidade existente no inverno e na menor radiação luminosa. Esta nebulosidade impede a incidência da grande parte da radiação solar nos meses de inverno, provocando uma menor produção elétrica pelos painéis fotovoltaicos. Seria intrigante averiguar o consumo e produção após a implementação dos equipamentos mais recentes e, comparar com dados anteriores para verificar as diferenças derivadas da monitorização e automatização.

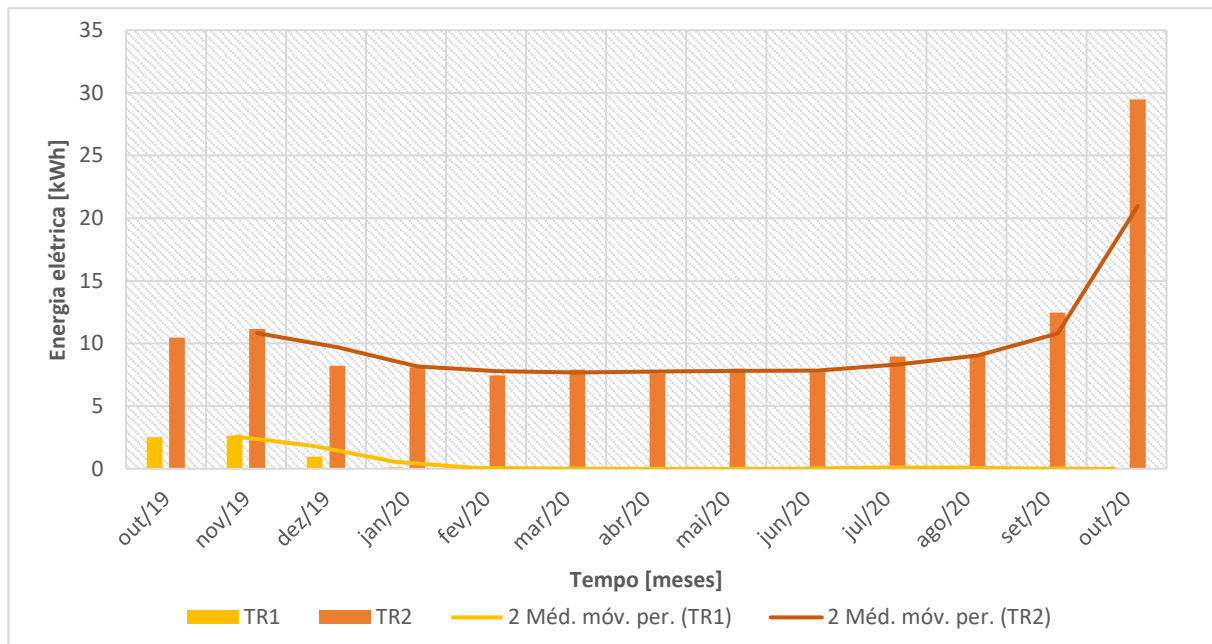


Figura B. 5: Consumo elétrico das salas de teste

Na [Figura B.5](#) encontra-se o consumo elétrico mensal das salas de teste, em kWh, desde outubro de 2019 até outubro de 2020. Nota-se que o consumo elétrico da TR2 é significativamente superior ao da TR1 e, que o consumo desta nunca supera o TR2. O consumo máximo da TR1 foi novembro de 2019, com cerca de 2.65 kWh/mês e o consumo mínimo foi registado em agosto com 0.01 kWh/mês sendo que o consumo desta sala de teste foi nulo de março a junho. O consumo máximo da TR2 foi de 29.5 kWh/mês em outubro de 2020 e o mínimo foi de 7.5 kWh/mês em fevereiro. De fevereiro até junho, o consumo da TR2 não variou significativamente já que neste período possivelmente não existiu muita ocupação. O consumo anual (outubro de 2019 a setembro de 2020) da TR1 é de 7 kWh/ano (cerca de 0.005 kWh/m².ano) e da TR2 é de 107 kWh/ano (aproximadamente 0.089 kWh/m².ano). Logo, o consumo anual das salas de teste rege-se pelos 114 kWh/ano sendo que o consumo das salas é 0.43% do consumo elétrico anual do edifício. O consumo destas salas depende dos equipamentos existentes em cada uma e da sua utilização. Como têm sido efetuados testes na TR2 e a sua automação está a ser otimizada recentemente, os seus equipamentos (ventilador, estores, luminárias, etc.) poderão estar a funcionar com maior regularidade e a consumir mais do que a TR1.

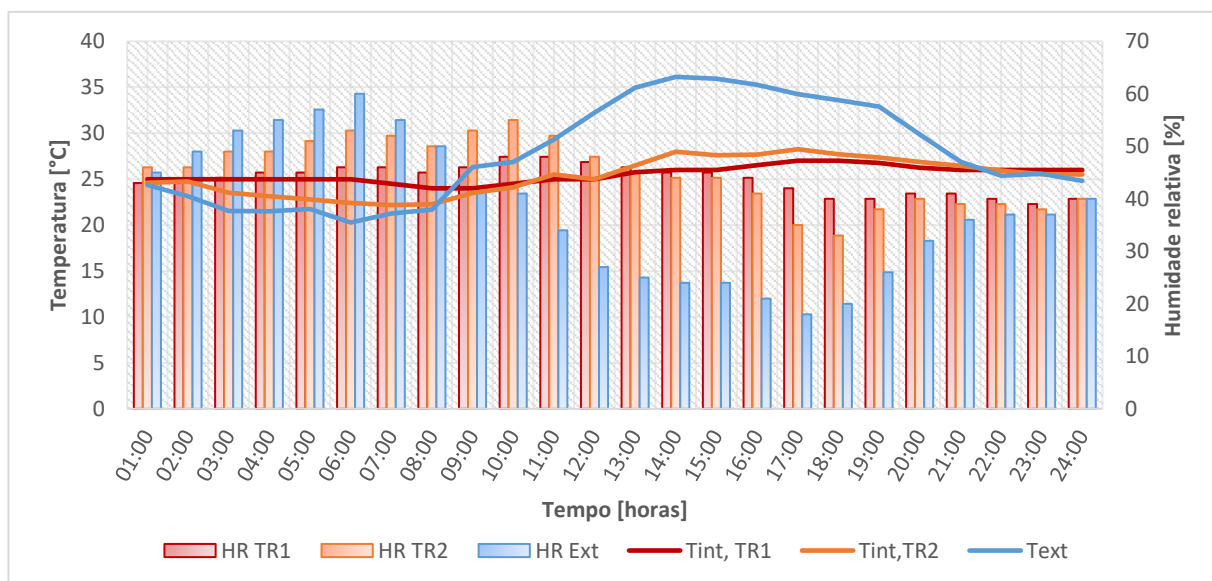


Figura B. 4: Temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores das salas de teste

Na [Figura B.5](#) estão expostos os valores de temperaturas e humidades relativas do interior e exterior das salas de teste, em graus celsius, ao longo do dia 7 de setembro de 2020. Observa-se que até às 8h e a partir de 22h, as temperaturas interiores das ambas as salas de teste eram superiores à temperatura exterior, contudo a temperatura do exterior superou drasticamente as temperaturas interiores a partir das 9h até às 21h (inclusive). Trata-se, portanto, de um dia muito quente sendo que o exterior alcançou a temperatura máxima de 36°C às 14h e, mesmo a temperatura mínima foi de 20°C às 6h. As temperaturas interiores não aumentam muito e, de modo geral, a TR1 é a sala mais quente ao longo do dia mesmo que a TR2 tenha tido um período com temperaturas superiores. As humidades relativas interiores e exterior variam de acordo com a temperaturas interiores e exterior já que até às 8h, as humidades relativas interiores eram inferiores à humidade exterior, contudo passam a ser superiores a partir das 9h quando a temperatura exterior excede as temperaturas interiores. Afere-se que as salas de teste não são muito afetadas pelo ambiente exterior, seja devido ao isolamento térmico ou os seus sistemas de climatização e, que a humidade relativa das salas de teste depende principalmente da temperatura interior, variando de forma inversa a esta.

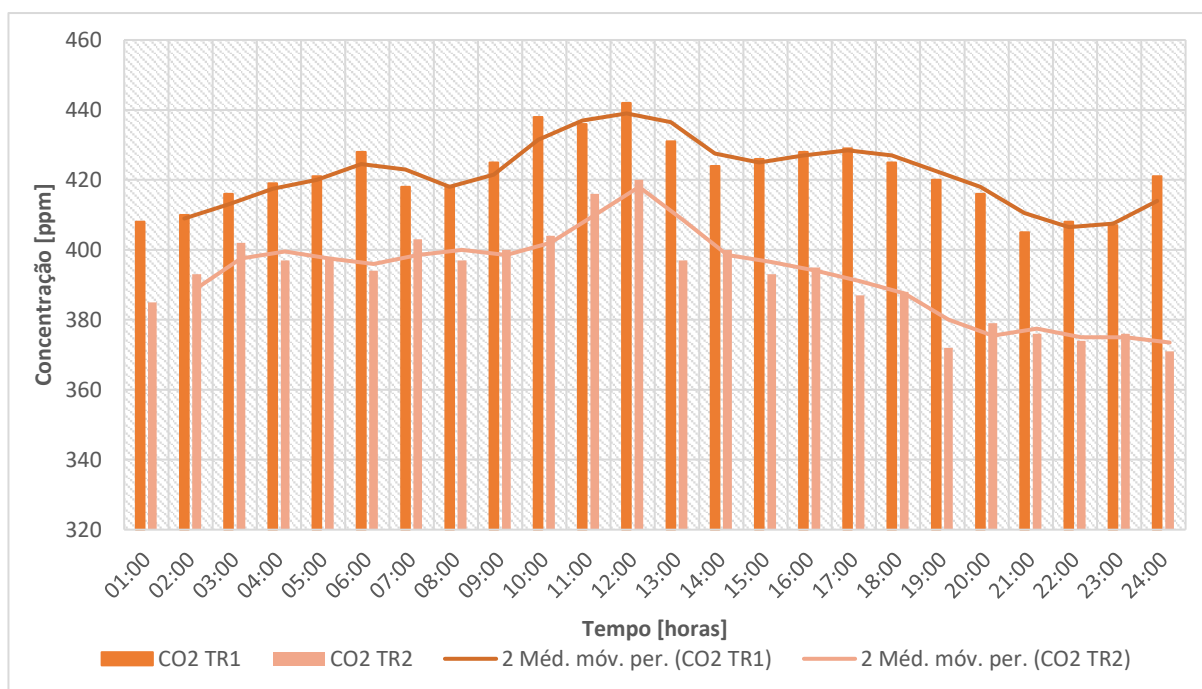


Figura B. 6: Concentração de CO₂ no interior das salas de teste

Na [Figura B.6](#) é possível notar os valores das concentrações de dióxido de carbono, em ppm, no interior das salas de teste ao longo do dia 7 de setembro de 2020. Verifica-se que a concentração de dióxido de carbono na TR1 é superior à da TR2, no dia inteiro. A concentração máxima na TR1 é de 442ppm às 12h e a concentração mínima é de 405ppm às 21h. Já na TR2, a concentração máxima foi de 420ppm às 12h e a concentração mínima foi de 371ppm às 24h. Na TR1, a concentração de dióxido de carbono tem um comportamento mais cíclico, aumentando e diminuindo de tempos em tempos. Por outro lado, a concentração aumenta do início até a metade do dia e, a partir desse momento, começa a decrescer até o final do dia na TR2. Estas variações dependem muito possivelmente da ocupação existente em cada sala de teste uma vez que as pessoas são uma das principais fontes de emissão de dióxido de carbono nos edifícios. Portanto, nos momentos em que existe ocupação, a concentração de dióxido de carbono deve aumentar devido à respiração das pessoas e, nos períodos em que as pessoas não se encontram nas salas de teste, a concentração deve diminuir graças à dissipação do gás no ar. Afere-se, ainda, que a concentração deste gás nunca supera o Limiar de Proteção em ambas salas de teste.

Anexo C – Avaliação do SRI no Solar XXI

Tabela C. 1: Níveis de funcionalidade de cada serviço existente no edifício Solar XXI

		Service	Functionality Level 0 (as non-smart default)	Functionality Level 1	Functionality Level 2	Functionality Level 3	Functionality Level 4
Heating	Heat control – demand side	Heat emission control	No automatic control	Central automatic control (e.g. central thermostat)	Individual room control (e.g. thermostatic valves or electronic controller)	Individual room with communication between controllers and to BACS	Individual room with communication and presence control
	Heat control – demand side	Control of distribution fluid temperature	No automatic control	Outside temperature compensated control	Demand based control	-	-
	Heat control – demand side	Control of distribution pumps in networks	No automatic control	On/off control	Multi-stage control	Variable speed pump control (pump unit (internal))	Variable speed pump control (external demand signal)
	Heat control – demand side	Intermittent control of emission and/or distribution	No automatic control	Automatic control with fixed time program	Automatic control with optimum start/stop	Automatic control with demand evaluation	-
	Heat control – demand side	Thermal Energy Storage for building heating (excluding TABS)	Continuous storage operation	Time-scheduled storage operation	Load prediction-based storage operation	-	-
	Heat control – demand side	Building preheating control	No automatic control	Program heating schedule in advance	Thermostat self-learning user behavior (presence, setpoint)	-	-
	Control heat production facilities	Heat generator control	Constant temperature control	Variable temperature control depending on outdoor temperature	Variable temperature control depending on the load	-	-
	Control heat production facilities	Heat system control according to external signal	No automatic control based on external signals	Heat system control according to external signals (tariff, availability of renewables, etc.)	Heat system control according to external signals combined with internal signals (predicted demand, temperature, etc.)	-	-

	Control heat production facilities	Sequencing of different heat generators	Priorities only based on running time	Control according to fixed priority list e.g. heat pump prior to hot water boiler	Control according to dynamic priority list (based on current efficiency and capacity of generators)	Control according to fixed priority list (based on current AND predicted load efficiency and capacity of generators)	Control according to fixed priority list (based on current AND predicted load efficiency and capacity of generators AND external signals from grid)
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding heating system performance	None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault detection
DHW	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (using hot water generation)	Automatic control on/off	Automatic control on/off and scheduled charging enable	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	Automatic charging control based on signals from district heating grid (DR, DSM)	-
	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	Manual selected control of solar energy or heat generation	Automatic control of solar storage charge (Prio.1) and supplementary storage charge	Automatic control of solar storage charge (Prio.1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	Automatic control of solar storage charge (Prio.1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage	-
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding DHW performance	None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault detection

Cooling	Cooling control-demand side	Cooling emission control	No automatic control	Central automatic control	Individual control REF	Individual room with communication between controllers and to BACS	Individual room with communication and presence control
	Cooling control-demand side	Intermittent control of emission and/or distribution	No automatic control	Automatic control with fixed time program	Automatic control with optimum start/stop	Automatic control with demand evaluation	-
	Cooling control-demand side	Interlock between heating and cooling control of emission and/or distribution	No interlock	Partial interlock (dependent of the HVAC system)	Total interlock	-	-
	Control cooling production facilities	Generator control for cooling	Constant temperature control	Variable temperature control depending outdoor temperature	Variable temperature control depending on the load		
	Control cooling production facilities	Sequencing of different cooling generators	Priorities only based on running time	Priorities only based on loads	Priorities only based on efficiency and characteristics	Load prediction-based sequencing	-
	Information to occupants and facility managers	Report information regarding cooling system performance	None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault detection
Ventilation	Air flow control	Supply air flow control at the room level	No ventilation system or manual control	Clock control	Occupancy detection control	Central Demand Control based on air quality sensors (CO ₂ , VOC, ...)	Local Demand Control based on air quality sensors (CO ₂ , VOC, ...) with local flow from/to the zone regulated by dampers
	Air flow control	Adjust the outdoor air flow or exhaust air rate	Fixed OA ratio/OA flow	Staged (low/high) OA ratio/OA flow (time schedule)	Staged (low/high) OA ratio/OA flow (presence)	Variable control	-
	Air flow control	Air flow or pressure control at the	No automatic control	On/off time control	Multi-stage control	Automatic flow or pressure	Automatic flow or pressure

		air handler level				control (without reset)	control (with reset)
	Air temperature control	Room air temp. control (all-air system)	On/off capacity control	Variable capacity control	Demand control	-	-
	Air temperature control	Heat recovery control: prevention of overheating	Without overheating control	Modulated or bypass heat recovery based on sensor in air exhaust	Modulated or bypass heat recovery based on multiple room temperature sensors and predictive control	-	-
	Air temperature control	Supply air temperature control	No automatic control	Constant setpoint	Variable setpoint with outdoor temperature compensation	Variable setpoint with load dependent compensation	-
	Free cooling	Free cooling with mechanical ventilation system	No automatic control	Night cooling	Free cooling	H,x – directed control	
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding IAQ	None	Air quality sensors (e.g. CO2) and real time autonomous monitoring	Real time monitoring & historical information of IAQ available to occupants	Real time monitoring & historical information of IAQ available to occupants + fault/maintenance detection based on internal sensors	Real time monitoring, historical information & predictive information of IAQ (incl. external data e.g. outside temperature, ambient, air...) available to occupants + fault/maintenance detection based on internal sensors and historical data
Lighting	Artificial lighting control	Occupancy control for indoor lighting	Manual on/off switch	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal	Automatic detection (manual on/dimmed or auto off)	Automatic detection (auto on/dimmed or auto off)	-
	Control artificial lighting power based on daylight levels	Control artificial lighting power based on daylight levels	Manual (central)	Manual (per room/zone)	Automatic switching	Automatic dimming	Scene-based light control (during time intervals, dynamic and adapted lighting scenes are set)

DE	Window control	Window solar shading control	No sun shading or only manual operation	Motorized operation with manual control	Motorized operation with automatic control based on sensor data	Combined light/blind/HV AC control	Predictive blind control (e.g. based on weather forecast)
	Window control	Window open/closed control, combined with HVAC system	Manual operation or only fixed windows	Open/close d detection to shut down heating or cooling systems	Level 1 + Automated mechanical window opening based on room sensor data	Level 2 + Centralized coordination of operable windows e.g. to control free	-
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding performance	None	Position of each product & fault detection	Position of each product, fault detection & predictive maintenance	Position of each product, fault detection, predictive maintenance, real-time sensor data (wind, lux...)	Position of each product, fault detection, predictive maintenance, real-time & historical sensor data (wind, lux...)
Electricity	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding energy generation	None	Current generation data available	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault detection
	DER - Storage	Storage of locally generated energy	None	Limited: small scale storage (batteries, TES...)	Storage which can supply self-consumption for >3 hours	Dynamically operated storage which can also feed back into the grid	-
	DER - Optimization	Optimizing self-consumption of locally generated energy	None	Short term optimization	Long term optimization including predicted generation and/or demand	-	-
	Feedback – Reporting information	Reporting information regarding stored electricity	None	Current state of charge (SOC) data available	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault detection

M&C	HVAC interaction control	Run time management of HVAC systems	Manual setting (plant enabling)	Individual setting following a predefined time schedule including fixed preconditioning phases	Individual setting following a predefined time schedule; adaptation from a central room; variable preconditioning phases	Control run time management by artificial intelligence	-
	Fault detection	Detecting faults of TBS and providing support to the diagnosis of these faults	No central indication of detected faults and alarms	With central indication of detected faults and alarms	With central indication of detected faults and alarms/ diagnosing functions	-	-
	TBS interaction control	Occupancy detection: connected services	None	For individual function e.g. lighting	Centralized detection which feeds to several TBS such as lighting and heating	-	-
	Feedback – Reporting Information	Central reporting of TBS performance and energy use	None	Real time indication for energy use per energy carrier	Real time indication of sub-metered energy use or other performance metrics for at least 2 domains	Real time indication of sub-metered energy use or other performance metrics for all main TBS	-
	Smart Grid Integration	Smart Grid Integration	None – No harmonization between grid and building energy systems	Building energy systems are managed and operated depending on grid load; DSM is used for load shifting	-	-	-
	Feedback – Reporting Information	Reporting information regarding DSM	None	Reporting information on current DSM flows and controls	Reporting information on current, historical and predicted DSM flows and controls	-	-

	Override control	Override of DSM control	No DSM control	DSM control without the possibility to override this control by the occupant	Manual override and reactivation	Scheduled override of DSM control and reactivation	Scheduled override of DSM control and reactivation with artificial intelligence
--	------------------	-------------------------	----------------	--	----------------------------------	--	---